

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITOTAL

Facultad Ciencias de la Vida

Estimación de la captura de carbono en el ecosistema manglar del cantón
Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:
Ingeniero Agrícola y Biológico

Presentado por:

María Jazmín Jiménez Castro
Daniel Isaac Villavicencio Villamar

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi hijo Edric y a mi esposo Ricardo, por su amor, paciencia y confianza, siendo mi apoyo tanto en lo personal como en mi carrera universitaria.

A mis padres William y Greny, por su cariño, consejos, motivación y apoyo brindado en todos estos años, muchas gracias por nunca dejarme sola. A mis hermanos y sobrinos por todo su cariño y ayuda.

María Jazmín Jimenez Castro

Este proyecto va dedicado primero a Jehová mi Dios, a quienes me han acompañado en estos años mis padres Hernán y Miryan, mis hermanos y mis abuelos. Dedicado a mis amigos quienes me apoyaron JuanDa, Fabricio, José, Melanie, Zaida. A mis compañeros de carrera y una especial dedicatoria a Lissa, quien me ha apoyado y creído en mi desde que nos conocemos.

Daniel Isaac Villavicencio Villamar

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a mi hijo, mi esposo, mis padres y demás familiares por su infinito apoyo, cariño y comprensión en mi carrera universitaria.

A mi tutor de tesis Edwin Jiménez, por su apoyo brindado en todo este proceso, a mis profesores por sus enseñanzas y consejos. A los amigos que hice a lo largo de mi carrera universitaria, las cuales contribuyeron en mi vida personal y profesional.

María Jazmín Jimenez Castro

Estoy eternamente agradecido a mis padres quienes me han apoyado. Agradecido a mi novia por su cariño por ser quien ha sido mi apoyo emocional y también ayudarme en mis estudios. A mis compañeros de carrera con quienes he formado una linda amistad.

Mis agradecimientos a ESPOL, por brindarme tan valiosos conocimientos, a mis profesores y tutor Edwin Jiménez quien me apoyo en este proceso.

Daniel Isaac Villavicencio Villamar

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María Jazmín Jiménez Castro* y *Daniel Isaac Villavicencio Villamar* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

María Jiménez Castro

María Jazmín Jiménez Castro

Daniel Isaac Villavicencio Villamar

Daniel Isaac Villavicencio Villamar

EVALUADORES

María Isabel Jiménez Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Edwin Jiménez Ruiz MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los manglares desempeñan un papel esencial al proporcionar diversos servicios ecosistémicos, como la de almacenar carbono. Este estudio se enfocó en estimar el potencial de captura de carbono en el ecosistema manglar en el cantón Guayaquil, abarcando específicamente las áreas de Kennedy, Miraflores, Velero, Chongón y Pto. El Morro. La evaluación se llevó a cabo en tres zonas con distintos niveles de intervención antropogénica: intervenida, medianamente intervenida y poco intervenida.

La cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y de raíces se realizó mediante un inventario muestral de transectos de 500 m² (100 x 5m) y aplicando ecuaciones alométricas. Los resultados revelaron diferencias significativas en la captura de carbono entre las zonas, mostrando una mayor acumulación en la zona intervenida (355.80 tC/ha), seguida por la medianamente intervenida (160.90 tC/ha) y, finalmente, la poco intervenida (78.18 tC/ha). Esta variación de la última zona se atribuye principalmente a la presencia predominante de árboles brinzales.

La evaluación total indicó que la zona de estudio retiene un valor de carbono de 409,193.71 t, distribuidas en 2,751.69 hectáreas, lo que se traduce en un beneficio económico de \$16'367,748.43 en potenciales bonos de carbono, considerando la tasa de pago propuesta por el Banco Mundial para el mercado no regulado, establecida en \$40 por t de carbono.

Palabras claves: biomasa, ecuación alométrica, inventario muestral.

ABSTRACT

The mangroves play a crucial role in providing various ecosystem services, such as carbon storage. This study focused on estimating the carbon sequestration potential in the mangrove ecosystem in the Guayaquil canton, specifically encompassing the areas of Kennedy, Miraflores, Velero, Chongón, and Pto. El Morro. The assessment was carried out in three zones with different levels of anthropogenic intervention: heavily intervened, moderately intervened, and lightly intervened.

The quantification of carbon stored in above-ground and root biomass was conducted through a sample inventory of 500 m² transects (100 x 5m), applying allometric equations. The results revealed significant differences in carbon capture among the zones, with higher accumulation in the heavily intervened zone (355.80 tC/ha), followed by the moderately intervened zone (160.90 tC/ha), and finally, the lightly intervened zone (78.18 tC/ha). The variation in the latter zone is mainly attributed to the predominant presence of sapling trees.

The overall assessment indicated that the study area retains a carbon value of 409,193.71 t, distributed across 2,751.69 hectares, translating to an economic benefit of \$16'367,748.43 in potential carbon credits. This calculation considers the payment rate proposed by the World Bank for the unregulated market, set at \$40 per ton of carbon.

Keywords: biomass, allometric equation, sample inventory.

ÍNDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i>	<i>I</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>II</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	<i>III</i>
<i>ABREVIATURAS</i>	<i>IV</i>
<i>SIMBOLOGÍA</i>	<i>V</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>VI</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>VII</i>
<i>CAPÍTULO 1</i>	<i>17</i>
1. Introducción.....	17
1.1 Descripción del problema.....	18
1.2 Justificación del problema.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Marco teórico	20
1.4.1 Ecosistema manglar	20
1.4.2 Manglares en el Ecuador.....	20
1.4.3 Importancia de los manglares.....	22
1.4.4 Zonificación por intervención humana en el ecosistema manglar del cantón Guayaquil.....	24
1.4.5 Inventarios forestales en el ecosistema manglar	24
1.4.6 Cambio climático	26
1.4.7 Rol del ecosistema manglar en la mitigación de emisiones de CO2	27
1.4.8 Captura de carbono en los ecosistemas.....	27

1.4.9 Carbono en el ecosistema manglar	28
1.4.10 Ecuaciones alométricas para estimación de biomasa en árboles de mangle	28
1.4.11 Bonos de carbono en biomasa aérea y de raíces en mangle	29
1.4.12 Mercado de carbono	30
1.4.12.1 Mercado regulado	30
1.4.12.2 Mercado no regulado/ voluntario	30
1.4.13 Valor económico del ecosistema manglar	30
CAPÍTULO 2	32
2. Metodología	32
2.1 Área de estudio	33
2.1.1 Superficie aproximada de manglar en la zona intervenida en el cantón Guayaquil	34
2.1.2 Superficie aproximada de manglar en la zona medianamente intervenida en el cantón Guayaquil	35
2.1.3 Superficie aproximada de manglar en la zona poco intervenida en el cantón Guayaquil	35
2.2 Materiales, instrumentos y equipos	35
2.3 Desarrollo del inventario de transectos en el ecosistema manglar	35
2.3.1 Número de árboles por hectárea	36
2.3.2 Diámetro normalizado (D)	38
2.3.3 Área basal (G)	38
2.3.4 Volumen (V)	38
2.4 Matriz de decisión para determinación de la ecuación alométrica a utilizarse en el procesamiento de datos del estudio	39
2.5 Cálculo de la biomasa aérea y de raíces en el ecosistema manglar a través de la ecuación alométrica derivada de la matriz de decisión	40
2.5.1 Cálculo de biomasa aérea por árbol	40
2.5.2 Cálculo del carbono almacenado en biomasa aérea por árbol	41

2.5.3 Cálculo de biomasa de raíces por árbol.....	42
2.5.4 Cálculo del carbono almacenado en biomasa de raíces por árbol	42
2.5.5 Conversión de kilogramos a toneladas de carbono almacenado en la biomasa aérea y de raíces por árbol.....	43
2.5.6 Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por hectárea	44
2.5.7 Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por localidad.....	45
2.6 Análisis estadístico de captura de carbono en las tres zonas de intervención.....	45
2.7 Valoración económica del carbono capturado en el ecosistema manglar en las zonas de estudio	46
CAPÍTULO 3.....	47
3. Resultados y análisis	47
3.1 Superficie aproximada de manglar en las zonas inventariadas en el cantón Guayaquil	47
3.1.1 Zona intervenida.....	49
3.1.2 Zona medianamente intervenida	52
3.1.3 Zona poco intervenida	55
3.2 Análisis Dasométricos (D, G, V y H) a partir del inventario en transecto	61
3.2.1 Número de árboles por hectárea por localidad	61
3.2.2 Zona intervenida.....	63
3.2.3 Zona medianamente intervenida	64
3.2.4 Zona poco intervenida	65
3.3 Matriz de decisión para la determinación de la ecuación alométrica	67
3.4 Determinación de biomasa y carbono en la parte aérea y en raíces en el ecosistema manglar a través de ecuaciones alométricas	69
3.5 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces en el ecosistema manglar	71
3.5.1 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea en las zonas de intervención.....	71

3.5.2 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por localidad en base a la zonificación	72
3.6 Análisis estadísticos de captura de carbono de las tres zonas de intervención	75
3.7 Valoración económica en el ecosistema manglar	76
<i>CAPÍTULO 4</i>	79
4.1 Conclusiones	79
4.2 Recomendaciones	79
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	81
<i>ANEXOS</i>	86

ABREVIATURAS

CO ₂	Dióxido de carbono
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
Cn	Circunferencia normalizada
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
D	Diámetro normalizado
CDCF	Community Development Carbon Fund
GEI	Gases de Efecto Invernadero
VCS	Verified Carbon Standard
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
UM	Unidades de Muestreo
B	Biomasa
C	Carbono
Btf	Biomasa total del fuste
BT	Biomasa del Tronco
BR	Biomasa de las Ramas
BH	Biomasa de las Hojas
BA	Biomasa Aérea
H	Altura del árbol
f	Factor de forma
G	Área basal
Feb	Factor de expansión de biomasa
CT	Carbono Total almacenado
Fc	Fracción de carbono en Biomasa
R ²	Coeficiente de determinación
SEE	Error estándar de la estimación

BM	Banco Mundial
Bt	Biomasa almacenada por árbol en toneladas
Fc	Fracción de carbono en Biomasa
B _{tb}	Biomasa de raíces
VC	Valor económico del carbono total

SIMBOLOGÍA

ha	Hectáreas
km ²	Kilómetro cuadrado
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
°C	Grados centígrados
Km	Kilómetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
cm	Centímetro
t	Tonelada
tC	Tonelada de carbono
%	Porcentaje
e	Número Euler
ln	Logaritmo natural

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación botánica del mangle rojo	22
Figura 1.2. Servicios ecosistémicos del manglar	23
Figura 2.1. Diagrama de la metodología empleada para la realización del estudio	32
Figura 2.2. Ubicación de las unidades muestrales (UM) en el Cantón Guayaquil.....	34
Figura 2.3. Toma del Cn (1 m) en el caso de especies como Rhizophora mangle	37
Figura 3.1. Mapa de la superficie manglar en Kennedy.....	49
Figura 3.2. Mapa de la superficie manglar en Miraflores	50
Figura 3.3. Mapa de la superficie manglar en Velero.....	51
Figura 3.4. Mapa de la superficie manglar en Puerto Hondo	52
Figura 3.5. Mapa de la superficie manglar en Madre Costal	53
Figura 3.6. Mapa de la superficie manglar en Tres Bocas	54
Figura 3.7. Mapa de la superficie manglar en Manglecillo.....	55
Figura 3.8. Mapa de la superficie manglar en Zapatero.....	56
Figura 3.9. Mapa de la superficie manglar en El Saibo.....	57
Figura 3.10. Mapa de la superficie manglar en Islitas “Las Garzas”	58
Figura 3.11. Mapa de la superficie manglar en Guarillo.....	59
Figura 3.12. Mapa de la superficie manglar Frente al Muelle en Pto. El Morro	60
Figura 3.13. Carbono almacenado en biomasa aérea y en raíces por hectárea (tC/ha) por zonas de intervención	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Especies de mangle en Ecuador.....	21
Tabla 2.1. Cálculo del número de árboles/ha a partir de una regla de tres	36
Tabla 3.1. Superficie aproximada de mangle en las zonas inventariadas en el cantón Guayaquil	47
Tabla 3.2. Número de árboles por hectárea en las zonas inventariadas	62
Tabla 3.3. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona intervenida ...	64
Tabla 3.4. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona medianamente intervenida	65
Tabla 3.5. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona poco intervenida	66
Tabla 3.6. Matriz de decisión de la ecuación validada para la estimación de biomasa aérea en árboles de mangle	68
Tabla 3.7. Datos de la estimación de Biomasa y carbono promedio en la parte aérea y en raíces por árbol en cada localidad.....	70
Tabla 3.8. Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea (tC/ha) mediante ecuaciones alométricas en las tres zonas de intervención	71
Tabla 3.9. Datos del carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces en las localidades de las tres zonas de intervención.....	74
Tabla 3.10. Pruebas de normalidad por zonas de intervención.....	75
Tabla 3.11. Prueba post hoc de Dunn entre zonas	75

CAPÍTULO 1

1. Introducción

El efecto invernadero ha generado consecuencias significativas al provocar alteraciones en el clima y en los ciclos naturales. Uno de los principales gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO₂), lo que ha motivado la implementación de estrategias de mitigación destinadas a reducir la concentración de CO₂ en el entorno. Los ecosistemas, como los manglares, poseen la capacidad de absorber CO₂, almacenándolos en su tronco, hojas y raíces. Por otro lado, la preservación y cuidado de estos ecosistemas representan un recurso potencialmente explotable en la lucha contra el efecto invernadero (Garduño, 2004).

Los bosques de manglar se sitúan en áreas influidas directamente por las mareas y se extienden por la costa ecuatoriana, incluyendo las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro e Islas Galápagos. En Ecuador los bosques de mangles abarcan aproximadamente 157 094.28 ha, compuestas por las siguientes especies: *Rhizophora racemosa*, *R. mangle*, *R. x harrisonii*, *Laguncularia racemosa var. Racemosa*, *L. racemosa var. glabriflora* y *Avicennia germinans* (Cornejo, 2014). Para proteger y conservar estos ecosistemas y los servicios que proporcionan, se ha establecido el Acuerdo Ministerial N° 031 (Ministerio del Ambiente, 2019).

El ecosistema manglar, a pesar de que es el menos investigado, desempeña un papel importante en el servicio ecosistémico relacionado con el almacenamiento de carbono. Los manglares albergan algunos de los depósitos de carbono más significativos en comparación con otros tipos de bosques. Como ejemplo, en la región del Indo-Pacífico, los depósitos de carbono en los manglares superan más del doble a los encontrados en la mayoría de los bosques tropicales y templados de tierras altas (Kauffman & Donato, 2012).

1.1 Descripción del problema

La estimación del carbono secuestrado por el manglar se logra mediante la cuantificación de la biomasa de los árboles. Este ecosistema plantea desafíos en la medición del carbono, debido a su estructura distintiva: tiene raíces aéreas que dificultan el acceso y requiere un enfoque de inventario especial. Además, es un ecosistema protegido, esto impide utilizar métodos destructivos para estimar el carbono almacenado.

Si no se estima la cantidad de carbono que el manglar captura, es difícil determinar su valor económico; como consecuencia, no se puede entablar negociaciones a nivel estatal para la conservación de los manglares. Además, varias industrias entre ellas el sector camaronero y pesquero, tienen una dependencia directa de la salud de este ecosistema. Por ende, este problema no solo afecta a las comunidades dependientes de los manglares, sino que también conlleva consecuencias de considerable magnitud tanto para el entorno ambiental como para la economía regional.

1.2 Justificación del problema

La evaluación del carbono almacenado en los manglares desempeña un papel esencial en la determinación de su valor económico. Este aspecto adquiere una importancia, ya que el carbono capturado en estos ecosistemas puede tener un valor significativo tanto en el mercado de créditos de carbono como en los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático. La falta de esta estimación dificulta la valoración adecuada de los manglares en términos de su contribución específica a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Es necesario contar con una base sólida de datos que respalde la importancia de los manglares en la lucha contra el cambio climático y facilite su reconocimiento efectivo en los mercados ambientales y políticas de conservación.

Además, la estimación del carbono en los manglares es fundamental para las negociaciones a nivel estatal y la conservación de estos ecosistemas. Sin cifras sobre cuánto

carbono almacenan, es difícil argumentar su importancia y justificar la necesidad de políticas de conservación más sólidas.

Con este problema también se solucionan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente al ODS 3 “Salud y Bienestar” al garantizar una vida saludable mediante la disminución de emisiones de CO₂, las cuales son perjudiciales para la salud. Además, aborda el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” al mitigar las emisiones de CO₂ existentes en la ciudad de Guayaquil; el ODS 13 “Acción por el clima” al reducir el impacto del cambio climático a través de la captura de carbono en árboles de mangle. Así mismo contribuye al ODS 14 “Vida submarina” al participar activamente en la gestión sostenible de los manglares, promoviendo el uso responsable de este valioso ecosistema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- ✓ Estimar el secuestro de carbono en manglares del cantón Guayaquil mediante un inventario muestral, empleando ecuaciones alométricas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un análisis comparativo de las medidas dasométricas, cálculo de volumen, para la determinación del estado de crecimiento en zonas de manglar: intervenida, medianamente intervenida y poco intervenida.
- ✓ Estimar la captura de carbono total mediante ecuaciones alométricas en las tres zonas para la determinación de la afectación causada por actividades antropogénicas al ecosistema.
- ✓ Determinar a través de una valoración económica el carbono almacenado en el ecosistema manglar, para las zonas de estudio.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Ecosistema manglar

Los manglares son ecosistemas abundantes e impresionantes que se desarrollan en el límite que está entre el mar y la tierra, proporcionando refugio y alimento para diferentes especies como cangrejos, camarones, moluscos, etc (Torres & Ruíz, 2017). Los manglares contribuyen a la seguridad alimentaria, al bienestar y a salvaguardar a las comunidades costeras a nivel mundial. Además, brindan servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono, regulación del ciclo hidrológico, producción de oxígeno, defensa natural contra los tsunamis, mareas altas, erosión, entre otros.

Debido a que los manglares son altamente productivos y representan un recurso no renovable, se han visto amenazados a nivel mundial ya que estos ecosistemas son afectados por las acciones antropogénicas lo que ha causado una considerable degradación en extensas zonas de manglar (Moreira, 2021).

Este tipo de ecosistema posee una variada cantidad de individuos por hectárea, pero según varios autores estos se sitúan por encima de los 1,000 individuos hasta los 1,800 (Kauffman, Heider, Dwire, & Donato, 2011) (Schaeffer-Novelli, Cintrón-Molero, Adaime, & De Rosa, 1990) (Lovelock, Feller, McKee, Thompson, & Ball, 2007)

1.4.2 Manglares en el Ecuador

En Ecuador, la reducción de las áreas de manglares y la consiguiente presión sobre la biodiversidad en los ambientes estuarinos se deben a la deforestación de mangles para la producción de carbón, expansión de camaroneras, infraestructuras civiles y propósitos habitacionales. Estas actividades humanas han llevado a la destrucción significativa de los manglares creando desafíos para la conservación de este valioso ecosistema y para la diversidad biológica que habitan en él (Panchana, 2009).

En 2016, el Ministerio del Ambiente del Ecuador estableció que la extensión total de manglares alcanzaba las 157,094.28 ha hectáreas, de las cuales 72,523.48 hectáreas forman parte del SNAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas) (MAE, 2017).

Las especies de mangle que se encuentran en la costa ecuatoriana se detallan en la **Tabla 1.1** que se muestra a continuación:

Tabla 1.1. *Especies de mangle en Ecuador*

Nombre Común	Nombre científico (especie)
Mangle rojo	<i>Rhizophora mangle</i>
Mangle negro	<i>Avicennia germinans</i>
Mangle blanco	<i>Laguncularia racemosa</i>
Mangle piñuelo	<i>Pelliciera rhizophorae</i>
Mangle Jelí o Botón	<i>Conocarpus erectus</i>
Mangle nato	<i>Mora megistosperma</i>

Nota: Datos tomados de (Bodero & Robadue, 1995) y adaptado por Jiménez y Villavicencio.

En las áreas de investigación de este proyecto, el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) destaca como la especie predominante, representando un 90% de la cobertura. La taxonomía botánica de esta especie se detalla en la **Figura 1.1**.

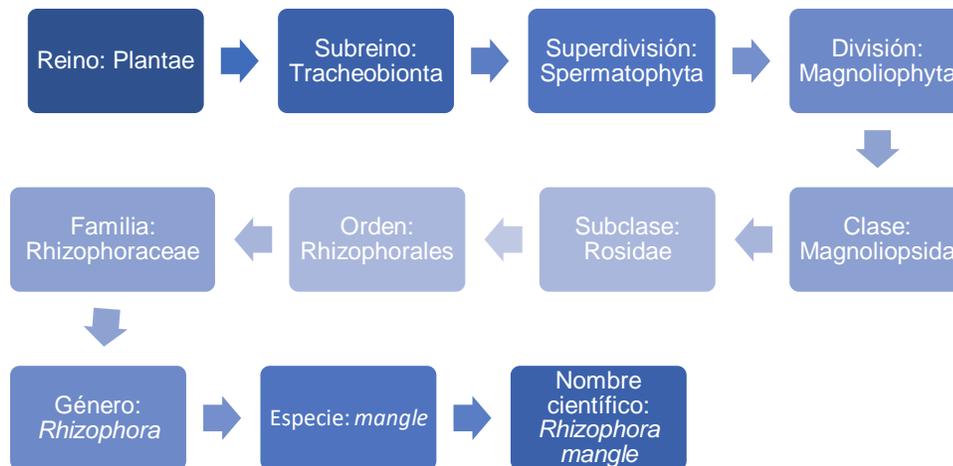


Figura 1.1. Clasificación botánica del mangle rojo

Nota: Tomado de (Panchana, 2009) y adaptado por Jiménez y Villavicencio.

El mangle rojo puede alcanzar alturas de 4 hasta 20 metros, con un diámetro de hasta 40 cm, su corteza externa es lisa a rugosa de color grisácea, pero de interior rojizo. Las ramas se encuentran apoyadas en muchas raíces zancudas con lenticelas (Regalado, Sánchez, & Mancebo, 2016).

Las hojas son opuestas, simples y ovaladas de color verde intenso en el haz y amarillentas en el envés, aglomerándose en las puntas de las ramas. Presenta inflorescencias cimosas con 5 a 7 flores en una misma rama. El fruto es una baya dura, piriforme de color pardo, el periodo de maduración es de aproximadamente 3 meses y permanece en el árbol hasta 12 meses (Bodero & Robadue, 1995).

1.4.3 Importancia de los manglares

Los manglares representan un valor significativo, ya que representa un valor comercial para la subsistencia de diversas comunidades. En zonas donde el modo de vida y la supervivencia de la sociedad dependen de los manglares, se han tomado medidas para preservarlo (Moreira, 2021). El valor y la relevancia de los manglares se

destaca en las diversas funciones naturales que desempeñan, conocidas como “servicios ecosistémicos” (Quoc et al., 2012).

Bajo este enfoque, los “servicios ecosistémicos” son vistos como las contribuciones directas o indirectas de los ecosistemas, que hacen posible y dignifican la vida humana. Sin embargo, estos servicios se ven amenazados por las acciones antropogénicas (Vanegas, 2019). Estas contribuciones se clasifican en cuatro categorías, tal como se muestra en la **Figura 1.2**.

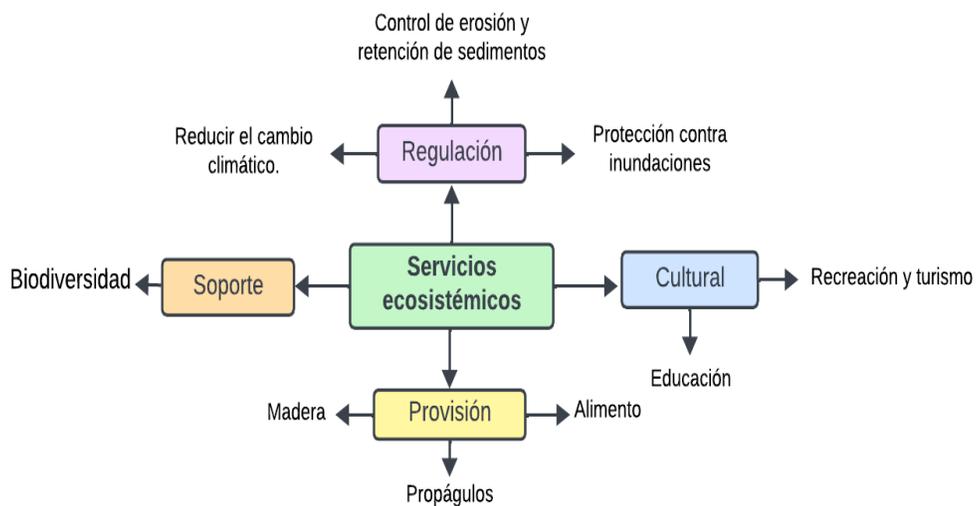


Figura 1.2. Servicios ecosistémicos del manglar

Nota: Tomado de (Vanegas, 2019) y adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Un elemento fundamental de los servicios ecosistémicos es la regulación, gracias a su destacada función en el control del clima. Además, su impresionante capacidad para capturar carbono resulta como una contribución crucial para la mitigación del cambio climático.

1.4.4 Zonificación por intervención humana en el ecosistema manglar del cantón Guayaquil

La zonificación cuando se aborda en términos de intervención humana se puede clasificar en tres categorías principales: zonas intervenidas, medianamente intervenidas y poco intervenidas. Cada una de estas categorías refleja el nivel de actividad y alteración que ha experimentado una determinada área (Espinoza, 2001).

Klinger (2010) señala que los grados de intervención en el ecosistema manglar se clasifican en función del porcentaje de superficie intervenida (actividad humana), para ello se ha definido la siguiente escala de calificación. Se considera zona intervenida aquella que abarca un rango del 40 al 60% de intervención, zona medianamente intervenida si está entre el 20 al 40% de intervención, y finalmente, se considera zona poco intervenida aquella que abarca un porcentaje de intervención del 0 a 20%.

1.4.5 Inventarios forestales en el ecosistema manglar

Un inventario forestal implica la recopilación organizada de información acerca de los recursos forestales presentes en una región específica. Facilita la evaluación de la situación actual y establece los cimientos para el análisis y la planificación, marcando así el inicio de un enfoque hacia la gestión forestal sostenible (FAO, 2004).

El tipo de inventario que se va a aplicar dependerá de diversos factores, como el propósito de la investigación, la extensión de terreno, el tipo de vegetación, etc. Entre los métodos de muestreo más utilizados en los inventarios forestales se encuentran el muestreo por parcelas permanentes, aleatorio simple, estratificado, sistemático, de transectos, etc. Considerando las limitaciones de accesibilidad y las condiciones particulares de los manglares, es recomendable diseñar muestreos que permitan la obtención de datos precisos y relevantes con el objetivo establecido. En este caso, el método más óptimo es el muestreo por transectos, el cual permite obtener datos como

CN y altura mediante un enfoque no destructivo, debido a que el manglar es considerado como recurso protegido (Barrera, 1997).

En el contexto de una investigación o muestreo forestal, la unidad muestral se refiere a una porción específica de la población que está siendo medida o estudiada. Esta unidad puede tomar diversas formas, ya sea rectangular, cuadrada o circular (Emanuelli, 2011). Para llevar a cabo este tipo de estudios, se emplea el método de transectos

Los transectos son rectángulos ubicados estratégicamente en una zona de estudio con vegetación específica. Estos permiten una medición rápida de los árboles y posibilitan el muestreo de la vegetación de manera más heterogénea. En este tipo de método muestral, generalmente utilizan transectos de 5x100 m, 10x100 o 20x100 m (McRoberts, Tomppo, & Czapplewski, 2010).

Los transectos permiten caracterizar parámetros como frecuencia, abundancia y dimensión de los árboles. Por ejemplo, en manglares dominados por *Rhizophora mangle* se han reportado valores de 9.7 cm de D, 10.8 a 13.9 m de altura, 18.6 a 30.9 m²/ha de área basal y 163.90 t/ha de biomasa (Gonçalves et al., 2020). Asimismo, Kovacs et al. (2001) registraron una altura promedio de 15 m y reservas de 27.60 t/ha de biomasa aérea en bosques de *R. mangle*. Otros autores han encontrado valores de hasta 17.7 cm de D, 16.7 m de altura, 80.9 m²/ha de área basal y 823.60 t/ha de biomasa en rodales monoespecíficos de esta especie (Sherman, 2003).

Los datos obtenidos en los transectos permiten estimar contenidos de biomasa y carbono, siendo una técnica no destructiva útil para el manejo sostenible del bosque (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

1.4.6 Cambio climático

El término "cambio climático" se refiere a las alteraciones a nivel global en las condiciones climáticas de la Tierra, resultado de influencias naturales y las actividades humanas (IPPC, 2007). Las acciones humanas, que han evolucionado desde la Revolución Industrial en el siglo XVIII, han introducido actividades perjudiciales para el medio ambiente, como la deforestación y el uso elevado de combustibles fósiles, generando un rápido incremento de los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) (CMCC, 2005).

Como consecuencias al cambio climático, estas emisiones han provocado un aumento en la temperatura promedio en aproximadamente un grado centígrado durante el último siglo, resultando en un incremento del nivel del mar de 17 centímetros. Este fenómeno amenaza la supervivencia de los manglares, vinculado a la pérdida de la biodiversidad marina y la disminución en la capacidad de capturar carbono dióxido de carbono. Además, las alteraciones en los patrones de precipitación y la consecuente aridez pueden tener un efecto significativo en la distribución de los manglares (Romero, 2020).

La relevancia de los manglares se evidencia significativamente en su contribución a la mitigación del cambio climático, ya que su extensión se traduce directamente en un mayor almacenamiento y captura de carbono mediante la conversión eficiente de dióxido de carbono (CO₂) en carbono. Este fenómeno subraya la imperiosa necesidad de conservar los manglares existentes y emprender esfuerzos para la restauración de aquellos que han sufrido degradación. La capacidad distintiva de los manglares para capturar y confinar carbono se sustenta en la peculiaridad de su entorno: el suelo fangoso que constituye su hábitat es extraordinariamente rico en carbono (Cinvestav, 2019).

A medida que los manglares prosperan, no solo aumentan su propia reserva de carbono, sino que también contribuyen al mantenimiento de sedimentos en su lugar, facilitando la retención de carbono en el suelo. Este proceso ha llevado a estimaciones que indican que la cantidad de carbono confinado bajo la influencia de estos árboles es hasta cuatro veces superior a la almacenada por otros tipos de bosques tropicales, consolidando así la invaluable contribución de los manglares en la lucha contra el cambio climático (Barnes, 2022).

1.4.7 Rol del ecosistema manglar en la mitigación de emisiones de CO₂

Los ecosistemas forestales poseen la notable capacidad de reducir el efecto invernadero a través de dos procesos intrínsecamente relacionados en el ciclo del carbono: la fijación o captura de carbono y la disminución de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal (Comisión Nacional Forestal, 2017).

Este proceso, en el que los bosques capturan carbono de la atmósfera, juega un papel esencial en la mitigación del cambio climático. Un bosque en fase de crecimiento se clasifica como un sumidero de carbono; por lo tanto, la pérdida de los bosques aumenta significativamente los daños ocasionados en el cambio climático. Actualmente, se ha estimado que la deforestación de los bosques representa aproximadamente el 20% de las emisiones anuales de dióxido de carbono (Comisión Nacional Forestal, 2017).

1.4.8 Captura de carbono en los ecosistemas

Durante el proceso de fotosíntesis, los árboles absorben dióxido de carbono del aire y lo transforman en azúcar, liberando oxígeno como subproducto. Aunque los árboles almacenan carbono en la mayor parte de su estructura, también liberan pequeñas cantidades, como cuando sus hojas se descomponen o cuando sus raíces utilizan azúcar para obtener nutrientes y agua (Comisión Nacional Forestal, 2017).

De igual manera los suelos forestales albergan diversos componentes, como raíces, hojarasca y materia orgánica en descomposición. La cantidad de carbono presente en los suelos forestales es altamente variable y la capacidad de los suelos para secuestrar carbono depende de numerosos factores locales, como la geología, el tipo de suelo y la composición de la vegetación circundante.

1.4.9 Carbono en el ecosistema manglar

El término “carbono” es utilizado para referirse al carbono capturado y almacenado en los humedales costeros. Se define como el carbono que los organismos vivos en los ecosistemas costeros (manglares y praderas submarinas) capturan y almacenan en la biomasa y en los sedimentos. Por lo tanto, los humedales costeros actúan como un sumidero de carbono constante y altamente eficiente, con tasas de absorción de carbono en los sedimentos que son hasta 55 veces más rápidas que las observadas en selvas tropicales (Ramsar, 2021).

1.4.10 Ecuaciones alométricas para estimación de biomasa en árboles de mangle

Cuando se busca estimar la biomasa aérea de los árboles, se recurre a estimaciones indirectas del material vegetal para realizar las inferencias necesarias. Para llevar a cabo este proceso, es fundamental contar con modelos matemáticos que permitan estimar la biomasa total a partir del tamaño y las dimensiones de los árboles. Estos modelos se basan en las relaciones alométricas que existen entre los diversos órganos de un individuo, lo que posibilita una aproximación precisa de la biomasa aérea.

Estos modelos son ampliamente aplicados en el ámbito forestal debido a su alta flexibilidad y versatilidad. Las variables más comúnmente utilizadas en estos modelos incluyen el diámetro normalizado (D), altura y densidad de la madera (Abad & Jairo, 2014).

La estimación de la biomasa aérea en árboles de mangle se realiza mediante modelos matemáticos basados en relaciones alométricas. Estos modelos, como los de Brown (1989), Chave (2005) y Fromard (1998), son ampliamente aplicados en el ámbito forestal por su flexibilidad.

1.4.11 Bonos de carbono en biomasa aérea y de raíces en mangle

La valoración del carbono de los manglares es considerada como un servicio ecosistémico de mitigación climática. Es una herramienta valiosa que proporciona información de mercado para influir en el comportamiento de proveedores y consumidores de servicios ecosistémicos.

Los bonos de carbono constituyen un mecanismo global de mitigación, el cual fue diseñado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (en especial de CO₂) responsables del cambio climático (Herrera et al.). Este es uno de los mecanismos propuestos por el Protocolo de Kioto, establecido en 1997, siendo el primer acuerdo internacional contra el cambio climático. En virtud de este acuerdo, las naciones acordaron disminuir sus emisiones y establecieron el primer sistema de créditos de carbono.

Un crédito de carbono equivale a la disminución de una tonelada métrica de emisiones de CO₂ o su equivalente de CO₂ con otros gases de efecto invernadero (BBVA, 2023). Como una estrategia financiera, los créditos de carbono azul no solo contrarrestan emisiones, sino que también incentivan la restauración, preservación y gestión sostenible del ecosistema manglar (Herrera et al.).

1.4.12 Mercado de carbono

El mercado de carbono es un sistema de intercambio donde gobiernos, compañías o individuos compran y venden bonos o créditos de carbono que representan reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Existen dos tipos de mercados:

1.4.12.1 Mercado regulado.

Los países industrializados comercializan bonos/créditos de carbono para cumplir con las reducciones de emisiones. El sistema más importante es el de la Unión Europea, conocido como (*European Union's Emissions Trading System*).

1.4.12.2 Mercado no regulado/ voluntario.

Se negocian créditos de Reducción Verificada de Emisiones, transados con empresas o individuos que desean reducir sus emisiones de forma voluntaria. En este mercado se requiere certificación y registro según un estándar de verificación, el más destacado es el *Verified Carbon Standard (VCS)*. Las compañías pueden obtener créditos de carbono certificados al comprometerse con la reducción de emisiones, y a cambio invertir en la protección y reforestación de los ecosistemas de manglar (Maldonado, 2020).

1.4.13 Valor económico del ecosistema manglar

La importancia de los manglares se manifiesta en dos aspectos: los recursos que se pueden extraer de ellos y los servicios ecosistémicos que proporcionan. Durante años, los manglares han sido subvalorados por la humanidad, debido a que su valor económico es una problemática que no se ha estudiado lo suficiente. Sin embargo, este es un tema fundamental para evitar la deforestación, promoviendo el uso y explotación racional en estos ecosistemas que se están agotando y degradando rápidamente en diversos lugares del mundo. (Gómez, 2005). Su mayor importancia radica en que son un catalogados

como filtros biológicos al absorber agentes contaminantes y capturar significativas cantidades de CO₂ (dióxido de carbono) incluso más que otros ecosistemas; siendo altamente eficaces como sumideros de carbono (Romero N. , 2014).

Hamrick & Goldstein (2015) señalan que el precio promedio por tonelada de Carbono almacenado desde 2014 fue de \$4 a \$5. No obstante, una investigación realizada por De la Peña et al. (2010) afirma que el precio promedio de mercado es de \$3.50 dólares para los certificados forestales, siendo desembolsados por el Banco Mundial a través de su fondo *Community Development Carbon Fund* (CDCF).

Según datos del Banco Mundial, el valor medio de un bono de carbono a escala mundial se sitúa en \$2 por cada tonelada de dióxido de carbono equivalente reducida (Cedeño, 2022). Este indicador refleja el costo asociado a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, sirviendo como referencia en los mercados y mecanismos que buscan incentivar la reducción de la huella de carbono.

Los costos actuales del carbono se encuentran significativamente por debajo de los niveles necesarios para cumplir con los objetivos climáticos. La mayoría de ellos están por debajo de los \$40-80 por tonelada de CO₂ proyectados para el año 2020 y los \$50-100 previstos para el 2030. Para limitar el aumento de la temperatura a 1.5°C, se requerirían precios de \$160 por tonelada en 2030, según el Banco Mundial (2017). A finales de 2020, el promedio global era de apenas \$22 por tonelada. Se estima que los costos totales de captura y almacenamiento de carbono podrían oscilar entre 70 y 250 euros por tonelada. Según Pouyenne (2023), se necesitaría un precio de \$40 por tonelada para reemplazar el carbón con gas natural en la generación eléctrica, y de \$80-100 por tonelada almacenada para que esta tecnología resulte rentable. Es imperativo que se tome acción política para establecer precios del carbono considerablemente más altos, en concordancia con los objetivos climáticos.

CAPÍTULO 2

2. Metodología

El presente proyecto, se llevó a cabo en seis etapas. A continuación, se presenta un diagrama que detalla la metodología empleada para cumplir con los objetivos establecidos (ver **Figura 2.1**).

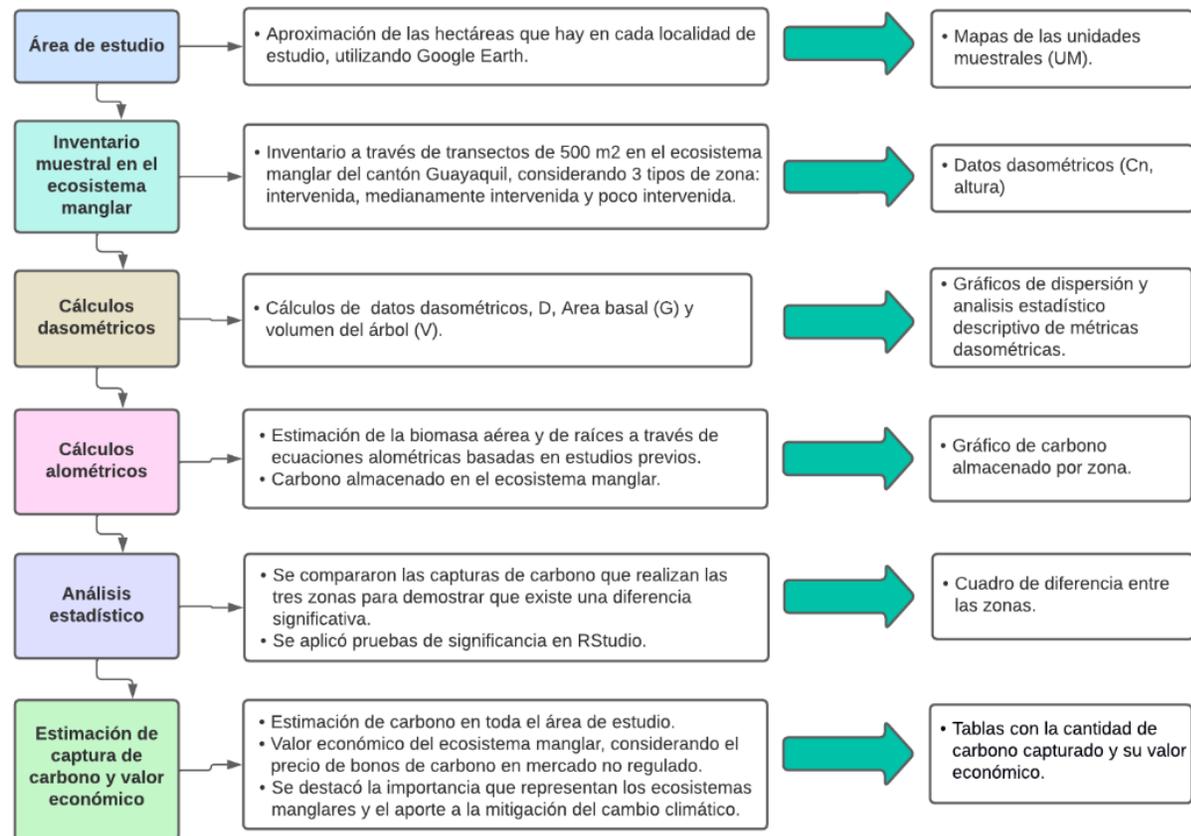


Figura 2.1. Diagrama de la metodología empleada para la realización del estudio

2.1 Área de estudio

El estudio se enfocó en el cantón Guayaquil – provincia del Guayas, específicamente en los sectores urbanos (Kennedy, Miraflores y Velero) y en las parroquias rurales Chongón y El Morro. Las zonas de estudio estuvieron situadas en un área de manglar protegido que abarca un total de 40735 hectáreas (Bustamante & Álava, 2020). Para llevar a cabo el estudio se instalaron 12 unidades de muestreo, tal como se muestra en la **Figura 2.2**.

Kennedy, Miraflores y Velero son sectores urbanos ubicados en la parroquia Tarqui al Noroeste del cantón Guayaquil. Se consideran como zonas intervenidas debido a la considerable presencia de actividad humana en sus proximidades. Además, estos sectores urbanos destacan por la presencia de manglares dentro del estuario, considerados como pulmones de la ciudad. Por lo cual resulta intrigante examinar el nivel de afectación causado por las actividades antropogénicas en estos importantes ecosistemas.

Chongón es considerado como zona medianamente intervenida, es una parroquia rural perteneciente al cantón Guayaquil- provincia del Guayas, se ubica al oeste de la ciudad exactamente en el km. 24 de la vía Guayaquil-Salinas. Tiene una superficie de 1,340 km², lo cual representa el 22% de la superficie total del cantón Guayaquil. Posee un clima con características de sabana tropical, tiene una temperatura promedio de 32°C y precipitación anual de 1,359 mm (Cerezo et al., 2016).

El Morro es considerado como zona poco intervenida, es una parroquia rural del cantón Guayaquil, abarca una extensión aproximada de 28,310 km² y está ubicada al sureste de la ciudad, encontrándose cercana a Posorja y Villamil Playas. Limita al norte con la parroquia Juan Gómez Rendón, al sur con Posorja, al este con el Golfo de Guayaquil y Juan Gómez Rendón, finalmente al oeste con Villamil Playas (GAD El Morro, 2015). Tiene una altitud de 6 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar), con precipitación anual de 500 mm y una temperatura promedio de 23.5°C (Cevallos, Cortez, & Hurtado, 2010).

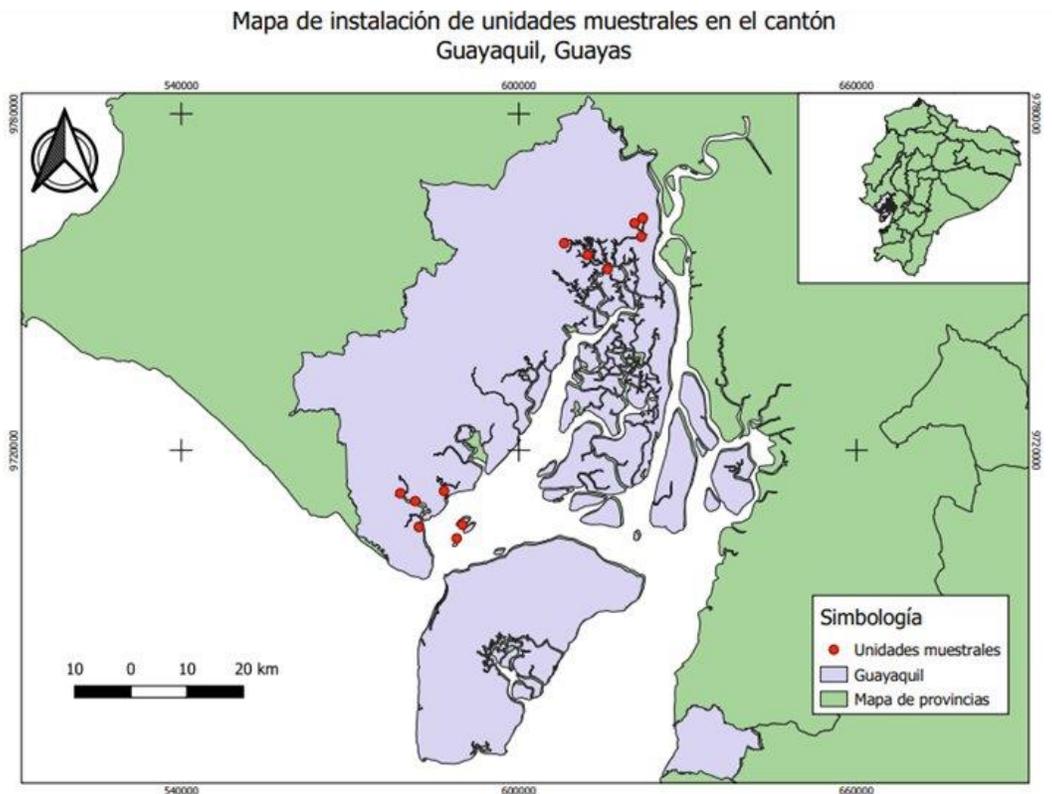


Figura 2.2. *Ubicación de las unidades muestrales (UM) en el Cantón Guayaquil*

2.1.1 Superficie aproximada de manglar en la zona intervenida en el cantón Guayaquil

La metodología para determinar las áreas de estudio se llevó a cabo mediante el uso de Google Earth, una herramienta de mapeo satelital. Mediante las funcionalidades proporcionadas por Google Earth como la creación de polígonos, se efectuaron identificaciones de las zonas de interés que cumplían con los criterios establecidos para la investigación, es decir, acorde a la intervención de actividades antropogénicas. Esto incluyó la delimitación de áreas geográficas específicas, tales como. Kennedy, Miraflores y Velero.

2.1.2 Superficie aproximada de manglar en la zona medianamente intervenida en el cantón Guayaquil

Para delimitar las superficies de las localidades en la zona medianamente intervenida, se empleó la metodología descrita en la sección anterior, considerando las delimitaciones específicas de las localidades de estudio como son: Pto. Hondo, Madre Costal y Tres Bocas.

2.1.3 Superficie aproximada de manglar en la zona poco intervenida en el cantón Guayaquil

La misma metodología descrita en las dos secciones anteriores se emplea para las superficies de las localidades de la zona poco intervenida, considerando que son seis localidades, como: Manglecillo, Zapatero, El Saibo, Islita las Garzas, Guarillo y Frente al muelle.

2.2 Materiales, instrumentos y equipos

- ✓ GPS, georreferenciar los sitios de muestreo
- ✓ Cinta métrica, establecer el transecto dado a que da las medidas del largo y ancho
- ✓ Cinta métrica de costura, medir el CN de los mangles
- ✓ Hipsómetro Haga, medir la altura de los arboles
- ✓ Soga, limitar el perímetro
- ✓ Machete, despejar la zona de estudio
- ✓ Libreta y esfero, anotar los datos obtenidos en los transectos.
- ✓ Google Earth, realizar la sectorización de las áreas.
- ✓ RStudio, realizar el análisis estadístico de los resultados.

2.3 Desarrollo del inventario de transectos en el ecosistema manglar

Los manglares presentan un ecosistema peculiar, caracterizado por la presencia de raíces aéreas que dificultan el acceso y un terreno inestable que complica la movilidad. Debido

a estas particularidades, el enfoque para diseñar las unidades de muestreo en manglares difiere significativamente del utilizado en otros tipos de bosques o ecosistemas (McRoberts, 2006). Por esta razón, se ha adoptado por un enfoque específico para configurar las unidades de muestreo (UM) en los manglares, teniendo unidades rectangulares con 5 metros de ancho y 100 metros de largo, resultando en un área muestral de 500 metros cuadrados.

Además de la determinación de las dimensiones, se estableció el número de las UM realizadas. En las zonas intervenidas y medianamente intervenidas, se han instalado 3 UM correspondientes a Kennedy, Miraflores, Veleró y Chongón respectivamente, mientras que en la zona poco intervenida se han colocado 6 UM en El Morro.

2.3.1 Número de árboles por hectárea

Para calcular el número de árboles por hectárea, se utilizan los datos obtenidos del inventario de transectos, que incluye el conteo de individuos. Este cálculo implica aplicar una regla de tres, considerando la relación entre la longitud de los transectos y la cantidad de individuos presentes en ellos en comparación con la extensión de una hectárea. Se muestra un ejemplo a continuación en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1. *Cálculo del número de árboles/ha a partir de una regla de tres*

Número de árboles	m²
48	500
X	10000

Utilizando el número de árboles que se encuentra en un transecto de 500 metros cuadrados y considerando que una hectárea tiene 10,000 metros cuadrados, se procede

aplicar la regla de tres mencionada en el ejemplo anterior (**Tabla 2.1**), por lo cual se obtiene el siguiente dato:

$$X = \frac{48 \times 10000}{500}$$

$$X = 960$$

Este mismo procedimiento se aplicó a cada transecto estudiado, el cual nos permite estimar el número de árboles por hectárea y, por ende, podremos saber el número de árboles que tiene cada zona de estudio.

Dentro del contexto de las UM se procede a la recopilación de datos concernientes a los árboles. Estos datos se centran en la medición de la circunferencia normalizada (Cn), ver **Figura 2.3**. Es importante destacar que, en el caso de los manglares, el diámetro de los árboles se registra por encima (1 metro) de las raíces zancudas, donde se encuentra el auténtico tronco principal. Esta particularidad distingue a los manglares de otros tipos de árboles.

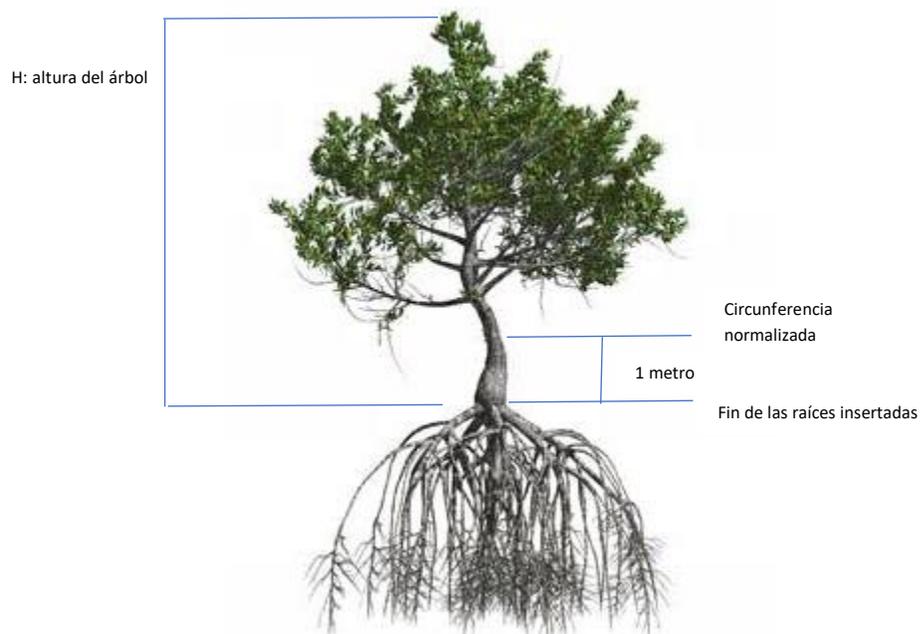


Figura 2.3. Toma del Cn (1 m) en el caso de especies como *Rhizophora mangle*

Nota: Tomado de (ENVATO, s.f.) y adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Para la medición de la altura de los árboles se empleó un hipsómetro Haga. Este dispositivo permitió determinar la altura del árbol desde su base, siendo esta distancia definida en este contexto como la medida desde la última raíz zancuda más elevada hasta la parte más alta de la copa del árbol. A partir de las mediciones del Cn y la altura del árbol, es posible calcular datos dasométricos que resultan fundamentales en la estimación de la biomasa y el contenido de carbono en las UM.

2.3.2 Diámetro normalizado (D)

Para determinar el diámetro normalizado (D), se utiliza la variable Cn, tal como se muestra en la ecuación (2.1):

$$D(cm) = \frac{Cn}{\pi} \quad (2.1)$$

Donde:

D: diámetro normalizado.

Cn: circunferencia normalizada.

2.3.3 Área basal (G)

Para calcular el área basal, se toma la variable D obtenida en el punto anterior, además la constante pi y el número 4, tal como lo muestra la ecuación (2.2).

$$G(m^2) = \frac{\pi}{4} * D^2 * 10000 \quad (2.2)$$

Donde:

G: área basal.

2.3.4 Volumen (V)

Para calcular el volumen del tronco de un árbol a partir del área basal, es necesario aplicar un factor de forma. Dado que no existen estudios específicos que definan el factor de forma para el *Rhizophora mangle*, se utilizará el valor teórico aplicable

a árboles latifoliados, que en este caso es de 0.6. La ecuación (2.3) se expresa de la siguiente manera:

$$V(m^3) = H * G * f \quad (2.3)$$

Donde:

H: altura del árbol en metros.

f: Factor de forma.

Estos cálculos servirán para comparar y evaluar como varía el volumen de los árboles de mangle en función del nivel de intervención humana en las zonas de estudio. Esto brindara información valiosa sobre el estado de salud y el crecimiento de los manglares en relación con los diferentes grados de intervención

2.4 Matriz de decisión para determinación de la ecuación alométrica a utilizarse en el procesamiento de datos del estudio.

Dado que se emplearán diversas ecuaciones alométricas provenientes de estudios anteriores, resultó imperativo contar con parámetros comparativos para la selección de la ecuación alométrica que se usó en los cálculos de biomasa. Esto facilitó la identificación de la ecuación más adecuada para la construcción de las ecuaciones específicas de este estudio.

Entre los parámetros usados estuvo:

- ✓ **Coefficiente de determinación (R²):** mide la proporción de la variabilidad en los datos que es explicada por el modelo. Un valor más cercano a 1 indica un mejor ajuste.
- ✓ **Estabilidad a través de diferentes conjuntos de datos:** se evaluó cómo se comportaron las ecuaciones alométricas con diferentes conjuntos de datos para verificar su aplicabilidad general.
- ✓ **Número de parámetros:** si la ecuación usa varios parámetros es más probable que sea acertado el valor predicho por la ecuación alométrica. Los parámetros utilizados son densidad (S), D y altura.

- ✓ **Sensibilidad a cambios en los datos:** evalúa la capacidad del modelo para reaccionar a pequeños cambios en los datos, analizando si estas modificaciones provocan un impacto significativo en los resultados finales. Este análisis de sensibilidad ayuda a comprender la estabilidad y confiabilidad del modelo frente a posibles variaciones en los datos de entrada.
- ✓ **Uso de la ecuación:** si una ecuación ha sido empleada con éxito en investigaciones anteriores, esto le confiere validez y respaldo a su eficacia por parte de otros investigadores. La experiencia positiva y la aceptación en la comunidad científica aumentan la confianza en la utilidad y aplicabilidad de la ecuación.

2.5 Cálculo de la biomasa aérea y de raíces en el ecosistema manglar a través de la ecuación alométrica derivada de la matriz de decisión

2.5.1 Cálculo de biomasa aérea por árbol

Antes de calcular la biomasa aérea de *Rhizophora mangle*, se implementó la matriz de decisión previamente mencionada para identificar la ecuación más idónea. Entre las ecuaciones consideradas se encuentra la propuesta por Brown (1989). Esta ecuación (2.4), se basa en tres variables dasométricas: D, altura del árbol y densidad.

$$Y (kg) = e^{-2.4090+0.9522*\ln(D^2*H*S)} \quad (2.4)$$

Donde:

Y: es la biomasa

e: Número Euler

S: Es la densidad de la madera. Según Adedeji (2012) la densidad está calculada en 0.89 g/cm^3 .

Además, se utilizaron dos ecuaciones adicionales desarrolladas por Brown (1989), las cuales utilizan las mismas variables, pero con diferentes estructuras y coeficientes. La ecuación (2.5) es:

$$Y = 42.69 - 12.800 * D + 1.242 * D^2 \quad (2.5)$$

Donde:

Y: Biomasa en Kg

D: Diámetro a 1 metro de altura en centímetros

Y la ecuación (2.6) es:

$$Y = e^{-2.134+2530*\ln(D)} \quad (2.6)$$

Donde:

Y: Biomasa en Kg

D: Diámetro a 1 metro de altura en centímetros

e: Número Euler

ln: Logaritmo natural

2.5.2 Cálculo del carbono almacenado en biomasa aérea por árbol

Utilizando la ecuación (2.4) de Brown, detallada previamente en la sección 2.5.1, se procede a calcular el carbono almacenado en la biomasa aérea. Esto se lo realiza multiplicando la biomasa aérea en toneladas (Bt) por el factor 0.5 sugerido por el Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (MacDicken, 1997), tal como se muestra en la ecuación (2.7).

$$C = Bt \times 0.5 \quad (2.7)$$

Donde:

C = Carbono aéreo almacenado en toneladas por árbol (t)

Bt = Biomasa almacenada por árbol en toneladas

0.5 = Fracción de carbono en Biomasa

Este enfoque proporciona una estimación del carbono almacenado en toneladas por hectárea, considerando la biomasa de los árboles en el área de estudio.

2.5.3 Cálculo de biomasa de raíces por árbol

Además de la biomasa aérea también se estimó la biomasa de las raíces. La biomasa subterránea es un componente importante en los manglares porque comprenden una proporción relativamente alta en comparación con otros tipos de bosques. En este caso se usó la ecuación (2.8) de Komiyama et al. (2008).

$$B_{TB} = 0.199 * S^{0.899} * D^{2.22} \quad (2.8)$$

Donde:

B_{TB}: Biomasa de raíces

S: es la densidad de la madera. Según Adedeji (2012) la densidad está calculada en 0.89 g/cm³.

D: Diámetro a 1 metro de altura en centímetros

2.5.4 Cálculo del carbono almacenado en biomasa de raíces por árbol

La cuantificación de la captura de carbono en las raíces se logra mediante la multiplicación de la biomasa por la concentración de carbono correspondiente. Un ejemplo significativo es el estudio de Jaramillo et al. (2003), que informó concentraciones de carbono en raíces entre 36% y 42%, sugiriendo un valor predeterminado defendible del 39% para el ecosistema mangle. Este enfoque es imprescindible para comprender las

dinámicas del ciclo del carbono y su impacto en procesos ecológicos, respaldando la gestión sostenible de los bosques (Kauffman & Donato, 2012). Así se evidencia en la ecuación (2.9) a continuación:

$$C_{TB} = B_{tb} * 0.39 \quad (2.9)$$

Donde:

C_{TB} = Carbono en raíces

B_{tb} = Biomasa de raíces

0.39= factor de conversión

2.5.5 Conversión de kilogramos a toneladas de carbono almacenado en la biomasa aérea y de raíces por árbol

Dado a que los resultados de carbono tanto en la biomasa aérea y en raíces están en kilogramos es necesario pasarlos a toneladas que es la medida con la que se calcula la captura por hectárea para ello empleamos la ecuación (2.10) mostrada a continuación:

$$C_t = C_{kg}/1000 \quad (2.10)$$

Donde:

C_t = Carbono almacenado en toneladas

C_{kg} = Carbono almacenado en kilogramos

1000= Factor de conversión

A partir del carbono almacenado en la biomasa aérea y en la biomasa de raíces promedio por árbol en cada zona, se procede a estimar la captura de carbono total. Para ello se realiza una suma del carbono (aéreo + raíces) como se muestra en la ecuación (2.11).

$$C_{\text{total}} = C_{\text{aéreo}} + C_{\text{raíces}} \quad (2.11)$$

Donde:

C_{total} = Carbono total de un árbol en toneladas (t)

$C_{\text{aéreo}}$ = Carbono almacenado en la parte aérea (t)

$C_{\text{raíces}}$ = Carbono almacenado en raíces de un árbol (t)

2.5.6 Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por hectárea

Para estimar el carbono almacenado por hectárea en la parte aérea y de raíces, se lo realiza multiplicando el carbono almacenado en cada árbol por el número de árboles aproximados en una hectárea (calculados en la sección 2.3.1), tal como se muestra en la ecuación (2.12).

$$C_{\text{ha}} = C \times n \quad (2.12)$$

Donde:

C_{ha} = Carbono almacenado por hectárea en toneladas (t/ha)

C = Carbono almacenado por árbol en toneladas (t)

n = Número de árboles por hectárea.

Este enfoque proporciona una estimación del carbono almacenado en toneladas por hectárea, considerando la biomasa de los árboles en el área de estudio.

2.5.7 Cálculo del carbono aéreo y de raíces almacenado por localidad

Utilizando la captura de carbono por hectárea obtenida en la sección anterior, se procedió al cálculo del carbono almacenado por cada localidad. Para ello, multiplicó la superficie aproximada por localidad (expresadas en hectáreas) por el carbono almacenado en cada hectárea, como se describe en la ecuación (2.13).

$$CT = C_{ha} \times H_{sector} \quad (2.13)$$

Donde:

CT= carbono total almacenado por localidad

H_{sector}= Hectáreas aproximadas por localidad

2.6 Análisis estadístico de captura de carbono en las tres zonas de intervención

Se realizó un análisis estadístico con el fin de determinar si hay diferencias significativas en la captura de carbono entre las tres zonas con distintos grados de intervención humana. En la primera etapa del análisis, se evaluó la normalidad de los datos utilizando el programa RStudio y aplicando la prueba de Shapiro ("shapiro.test"). Después, se llevó a cabo un test de Kruskal-Wallis con el propósito de evaluar las diferencias entre la mediana para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas de la captura de carbono en las tres zonas intervenidas.

Además, se aplicó una prueba de Dunn en RStudio para identificar los grupos (zonas) que presentan divergencias entre sí. La elección de esta prueba se basa en su idoneidad para realizar comparaciones múltiples y detectar de manera precisa divergencias significativas entre las tres zonas de estudio. Esto posibilita una evaluación más detallada de las disparidades

observadas, proporcionando información detallada sobre que zonas particulares presentan diferencias significativas en la captura de carbono.

2.7 Valoración económica del carbono capturado en el ecosistema manglar en las zonas de estudio

Una vez obtenidos los datos de la cantidad de carbono almacenado en cada zona de estudio, la fase subsiguiente se enfocó en su evaluación económica. Para determinar el valor económico por zona, se multiplicó la cantidad total de carbono capturado en cada zona por \$40 (valor por tonelada), que corresponde al precio de los bonos de carbono en el mercado no regulado según el (Banco Mundial, 2017), como se muestra en la ecuación (2.14).

$$VC= CT \times \$40 \quad (2.14)$$

Donde:

VC= Valor económico del carbono total

CT= Carbono total almacenado en cada zona en toneladas

\$40= Valor de una tonelada de carbono almacenado según BM (2017).

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

3.1 Superficie aproximada de manglar en las zonas inventariadas en el cantón Guayaquil

Siguiendo la metodología, se estimó la superficie en hectáreas en los sectores donde se instalaron las unidades muestrales. Los resultados obtenidos se detallan en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1. Superficie aproximada de mangle en las zonas inventariadas en el cantón Guayaquil

Zona	Nombre del sitio	Extensión aproximada (ha)
Intervenida	Kennedy	28
	Miraflores	21
	Velero	13.6
Medianamente intervenida	Pto. Hondo	265
	Madre Costal	962
	Tres Bocas	909
Poco intervenida	Manglecillo	114.3
	Zapatero	6.39
	El Saibo	178
	Islita las	12
	Garzas	
	Guarillo	225.9
	Frente al muelle	16.5

Seguidamente, se muestran las imágenes satelitales de los sectores en estudio para visualizar el nivel de intervención de las actividades antropogénicas. Estas imágenes son fundamentales para delimitar los sitios en diferentes zonas de intervención.

3.1.1 Zona intervenida

Mapa de la superficie de manglar Kennedy

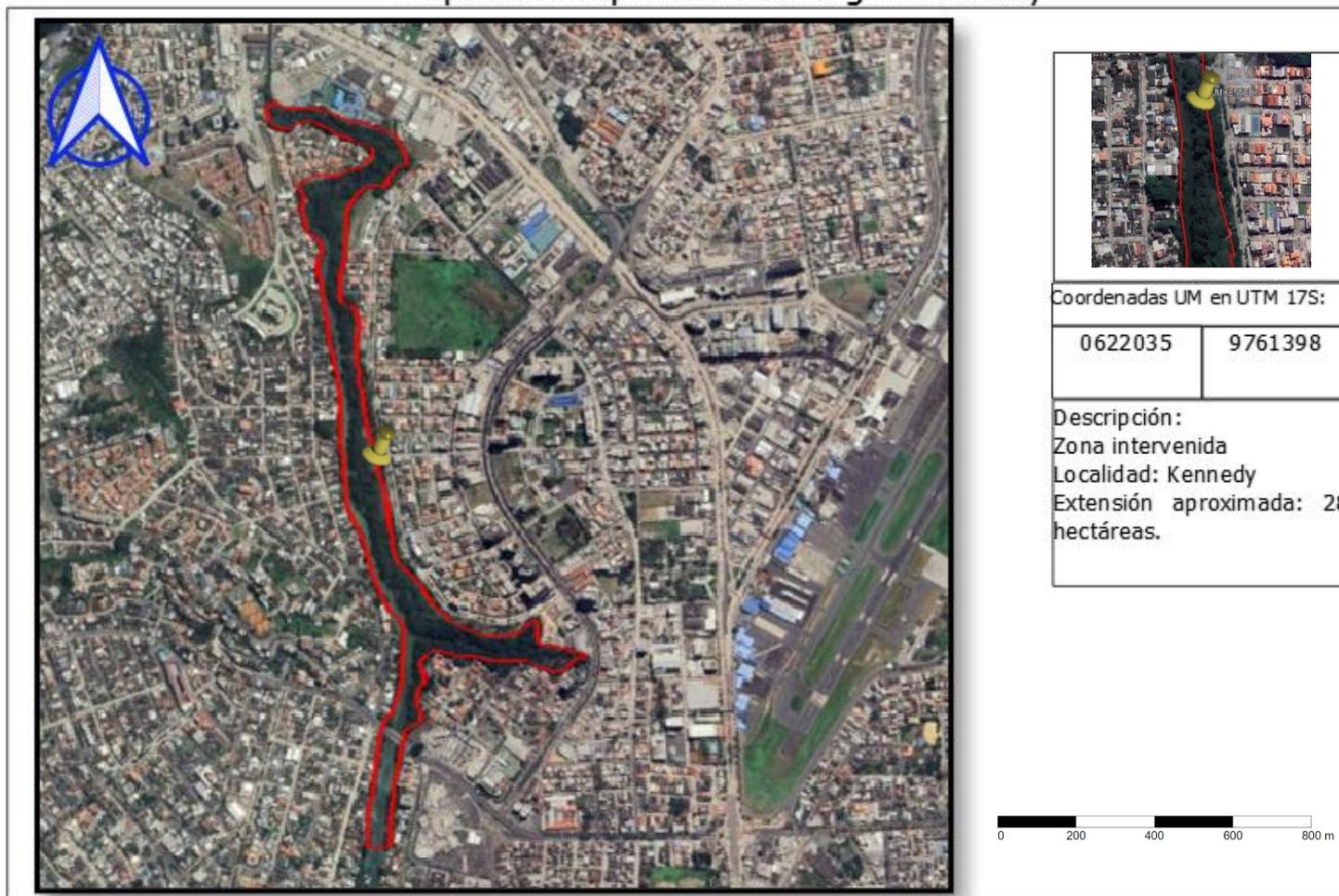


Figura 3.1. Mapa de la superficie manglar en Kennedy

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Miraflores

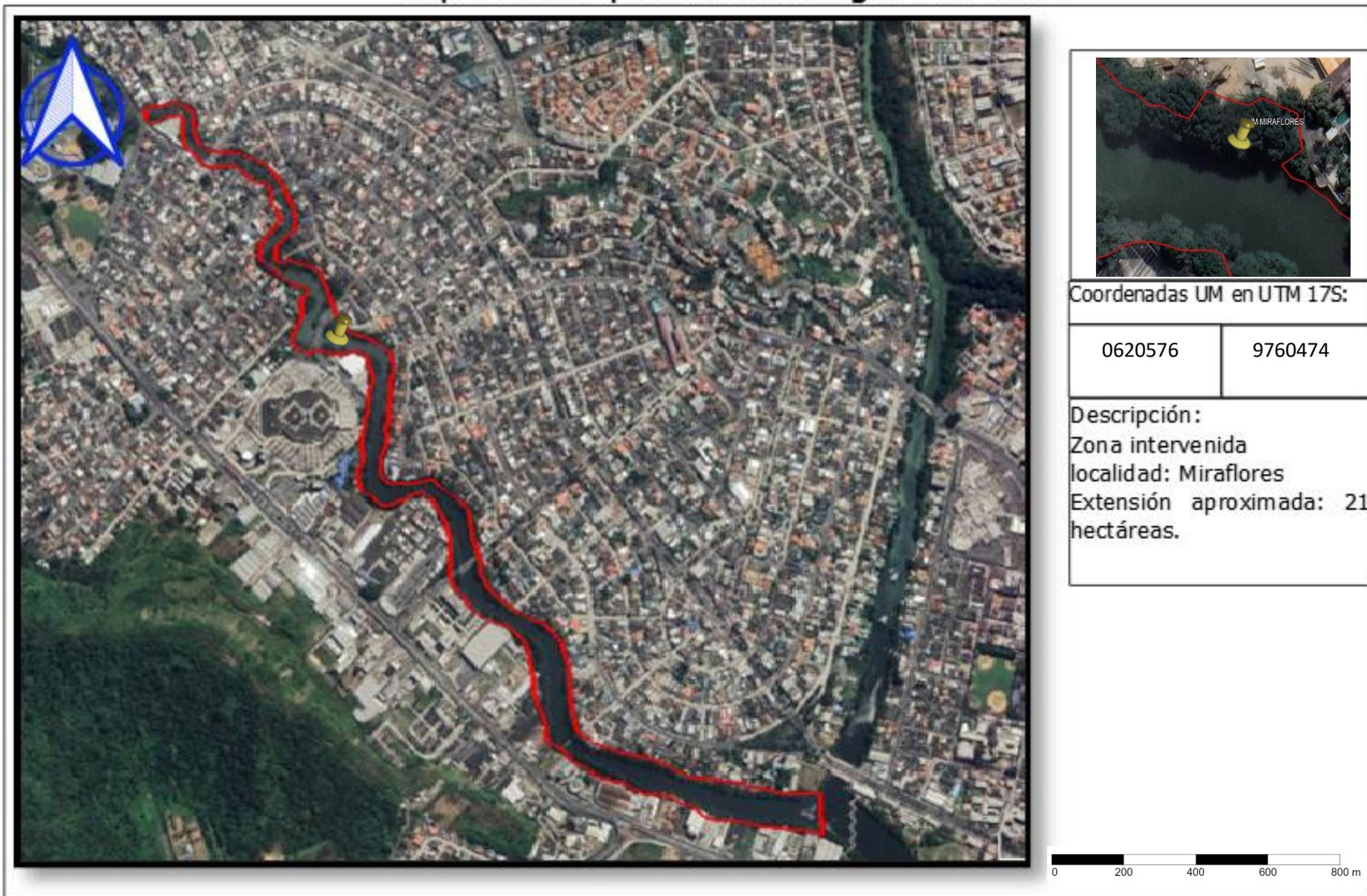


Figura 3.2. Mapa de la superficie manglar en Miraflores

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Velero



Coordenadas UM en UTM 17S:

0621788

9758081

Descripción:

Zona intervenida

Localidad: Velero

Extensión aproximada: 13.6 hectáreas.

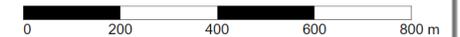


Figura 3.3. Mapa de la superficie manglar en Velero

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

3.1.2 Zona medianamente intervenida

Mapa de la superficie de manglar Puerto Hondo

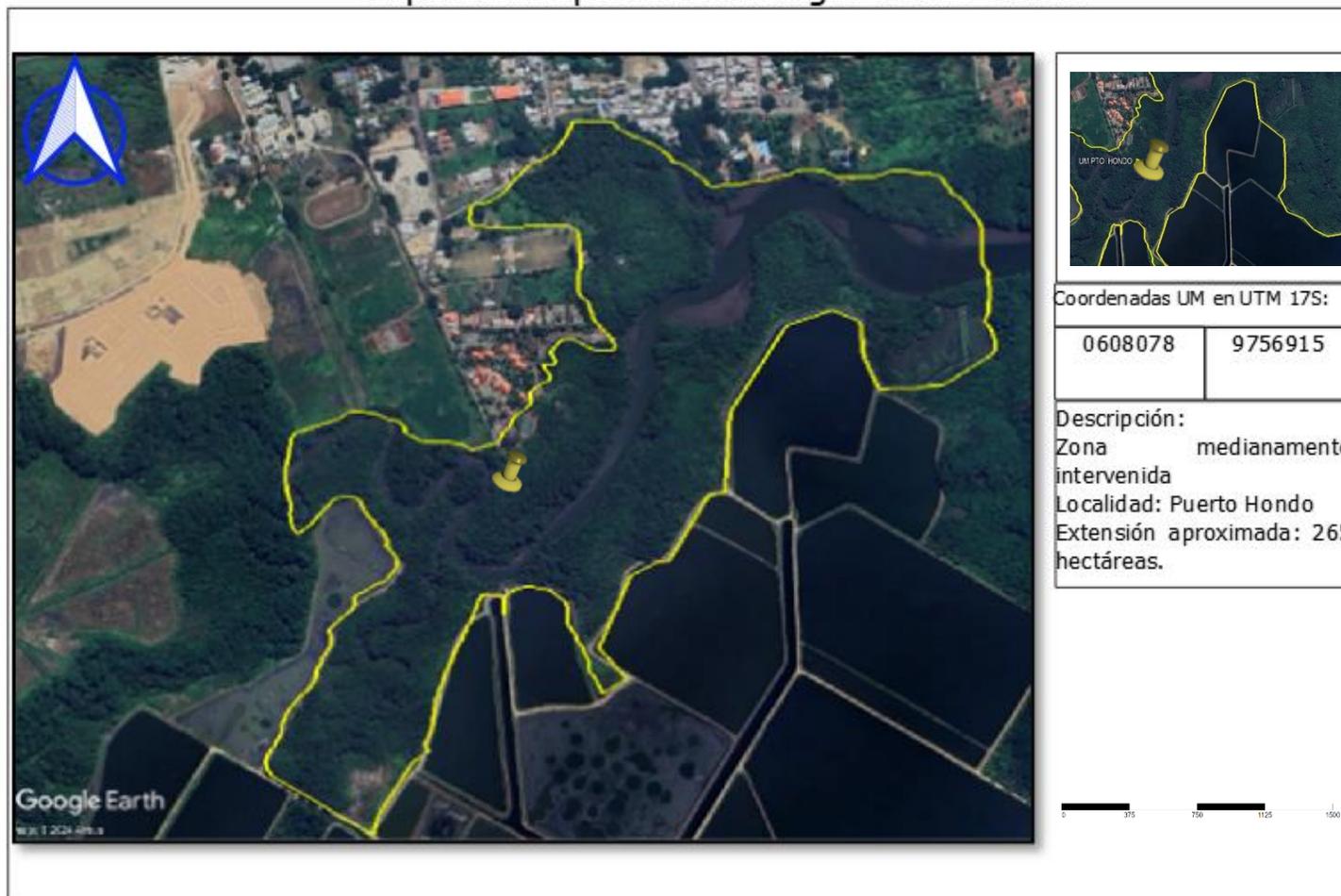


Figura 3.4. Mapa de la superficie manglar en Puerto Hondo

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Madre Costal



Figura 3.5. Mapa de la superficie manglar en Madre Costal

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Tres Bocas

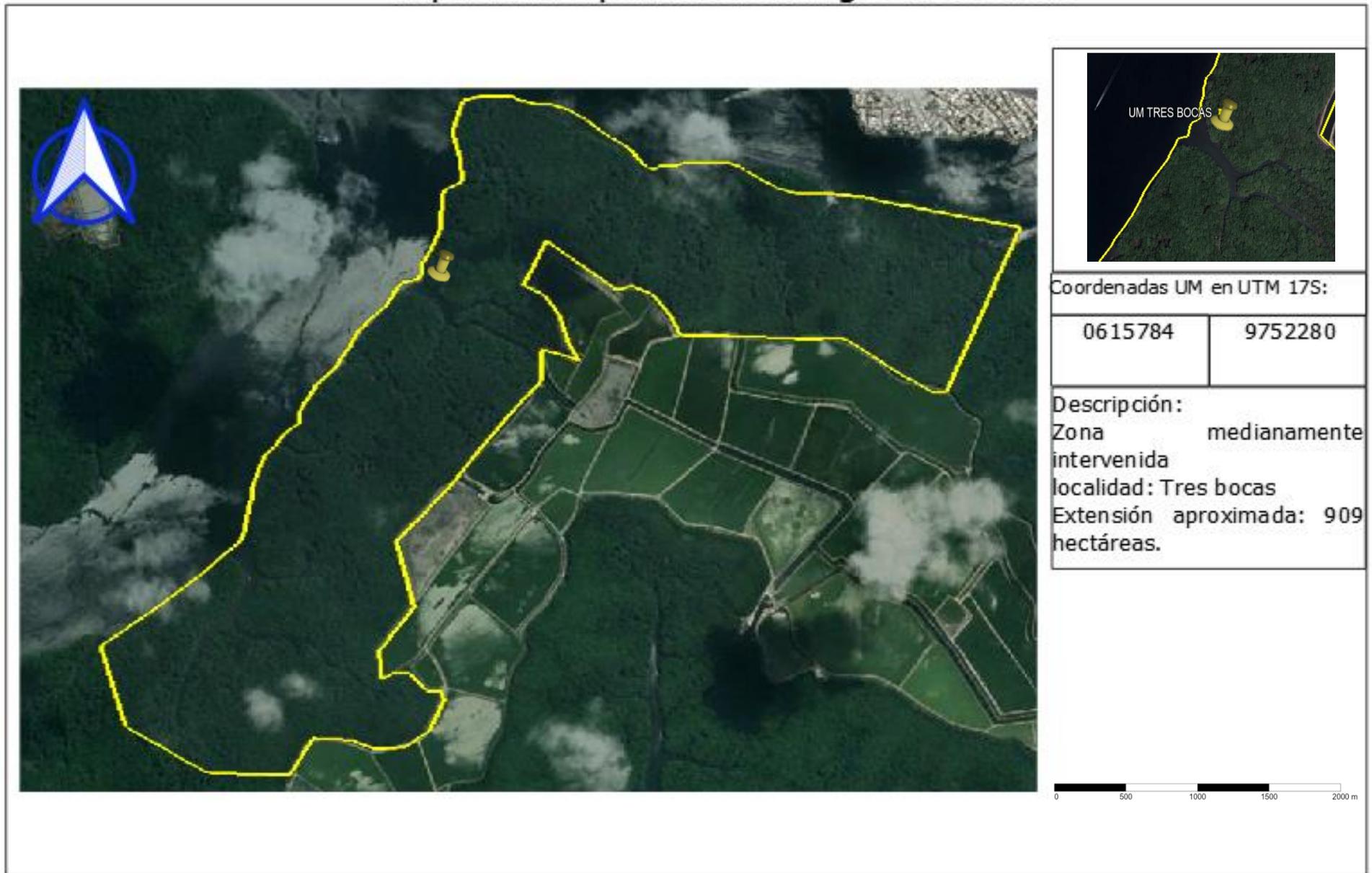


Figura 3.6. Mapa de la superficie manglar en Tres Bocas

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

3.1.3 Zona poco intervenida

Mapa de la superficie de manglar Manglecillo



Figura 3.7. Mapa de la superficie manglar en Manglecillo

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Zapatero



Coordenadas UM en UTM 17S:

0588961

9704283

Descripción:

Zona poco intervenida

Localidad: Zapatero

Extensión aproximada: 6.39 hectáreas.



Figura 3.8. Mapa de la superficie manglar en Zapatero

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar El Saibo

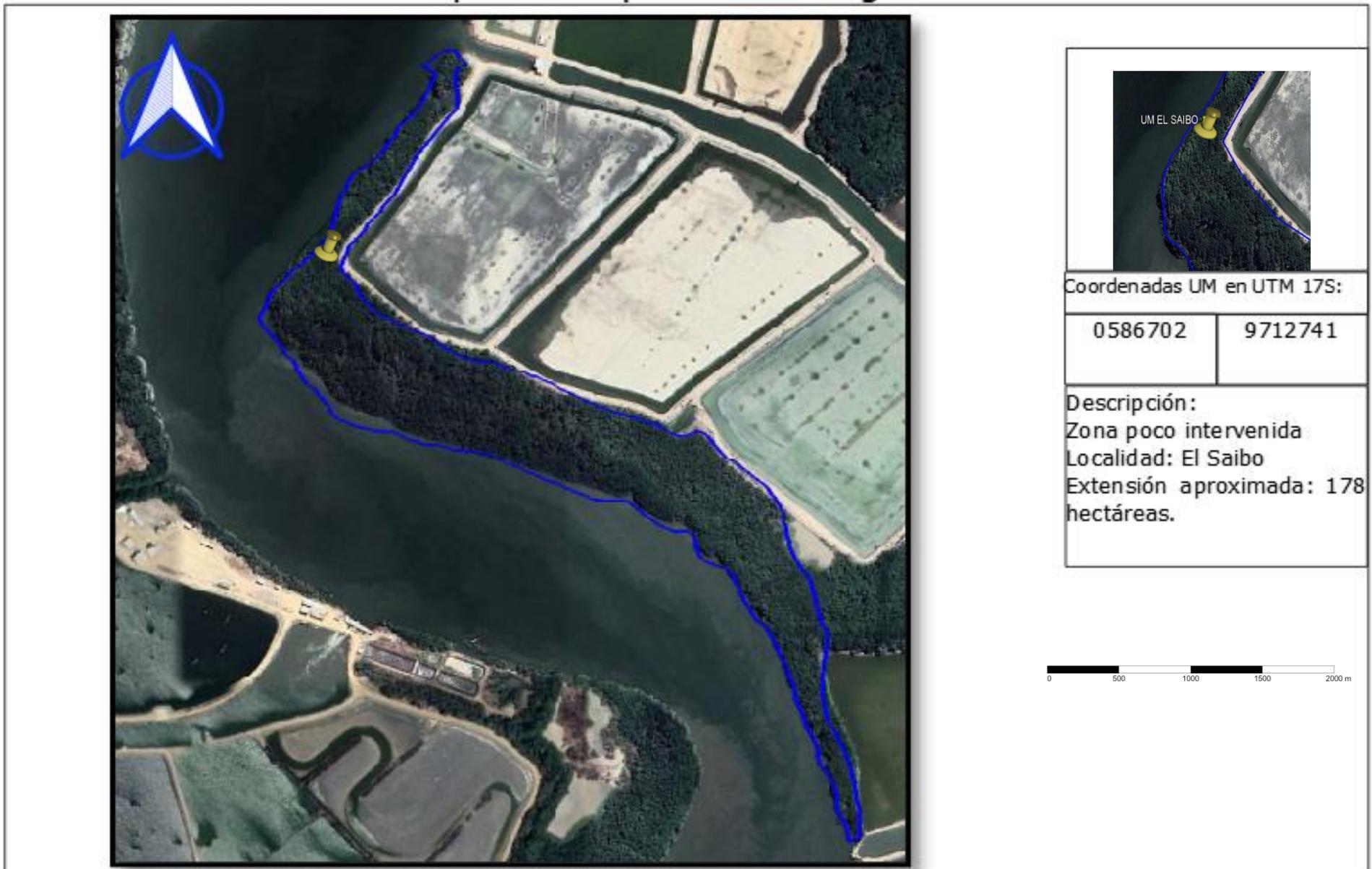


Figura 3.9. Mapa de la superficie manglar en El Saibo

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Islitas las Garzas



Coordenadas UM en UTM 17S:

0581597

9710911

Descripción:

Zona poco intervenida

Localidad: Islitas las garzas

Extensión aproximada: 12 hectáreas.

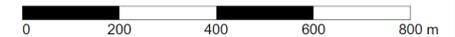


Figura 3.10. Mapa de la superficie manglar en Islitas “Las Garzas”

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Guarillo



Figura 3.11. Mapa de la superficie manglar en Guarillo

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

Mapa de la superficie de manglar Frente al muelle



Figura 3.12. Mapa de la superficie manglar Frente al Muelle en Pto. El Morro

Nota: Tomado de Google Earth, adaptado por Jiménez y Villavicencio.

3.2 Análisis Dasométricos (D, G, V y H) a partir del inventario en transecto

3.2.1 Número de árboles por hectárea por localidad

En la **Tabla 3.2** se muestra el número de árboles que se tiene en cada localidad estudiada, distribuidos por zona de intervención. Esto se logró a partir de los transectos de muestreo como se mencionó en la metodología.

Entre los resultados se destaca que en la zona poco intervenida se registró promedio de 647 individuos por hectárea, mientras que, en la zona intervenida, específicamente en el transecto Kennedy, se cuantificó la menor cantidad con solo 160 individuos por hectárea. Esta diferencia podría deberse a que, en las zonas poco intervenidas, al haber menos actividad humana, los procesos ecológicos naturales como el crecimiento de nuevos árboles ocurren sin alteraciones. Mientras tanto, en zonas intervenidas como Kennedy, la actividad antropogénica limita los procesos de regeneración natural del bosque.

Tabla 3.2. *Número de árboles por hectárea en las zonas inventariadas*

Zona	Nombre del sitio	Árboles por hectárea
Intervenida	Kennedy	160
	Miraflores	1080
	Velero	760
Promedio		667
Medianamente intervenida	Pto. Hondo	460
	Madre Costal	400
	Tres Bocas	460
	Promedio	440
Poco intervenida	Manglecillo	1000
	Zapatero	1000
	El Saibo	440
	Islita las Garzas	360
	Guarillo	560
	Frente al muelle	520
Promedio		647
Promedio total		584

El número promedio de individuos por hectárea obtenido en este estudio exhibe diferencias con respecto a las cifras reportadas en investigaciones previas mencionadas en el marco teórico. Por ejemplo, estudios realizados en Brasil, Micronesia y Panamá señalan una densidad superior a 1,000 árboles por hectárea, llegando incluso a 1,800 individuos en algunos casos. Sin embargo, los bosques evaluados en este estudio

presentan una densidad arbórea promedio de 584, esta discrepancia podría indicar variaciones significativas en la estructura y composición de los bosques en comparación con aquellos de otras regiones citadas.

3.2.2 Zona intervenida

En la zona intervenida, se registran tres transectos que han sido objeto del análisis detallado. La **Tabla 3.3**, proporciona una visión detallada de las métricas clave de estos transectos, destacando notables disparidades en cuanto al D, área basal, volumen y altura promedio de los árboles. El transecto T1 Kennedy destaca por presentar los valores más elevados en todas las métricas evaluadas, D de 0.375 m, área basal de 0.1380 m², volumen de 1.2817 m³ y altura promedio de 17.69 m. Seguido de Miraflores que presenta notables diferencias, revelando un diámetro ligeramente menor con una diferencia de 0.1 metros. Por otro lado, en el Velero (T3) se observa una marcada disparidad en la altura promedio de árboles y volumen (12.19 m y 0.2091 m³ respectivamente) en comparación con los otros dos transectos.

En cuanto al número de individuos, Miraflores registra 54 árboles, mientras que Velero presenta 38 árboles, contrastando significativamente con los 8 contabilizados en Kennedy. Por tanto, aunque en Kennedy hay una menor densidad arbórea, los pocos árboles presentes tienen dimensiones mayores de diámetro y área basal en relación con los transectos de Miraflores y Velero. Esta diferencia podría atribuirse a la posible

presencia de árboles más antiguos y desarrollados en Kennedy, a pesar del grado de intervención antropogénica existente en los tres sitios.

Tabla 3.3. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona intervenida

TRANSECTOS	T1 KENNEDY	T2 MIRAFLORES	T3 VELERO
N° de árboles	8	54	38
D Promedio (m)	0.375	0.203	0.192
G Promedio (m ²)	0.1380	0.0400	0.0340
V Promedio (m ³)	1.2817	0.3843	0.2091
H Promedio (m)	17.69	17.44	12.19

3.2.3 Zona medianamente intervenida

En la zona medianamente intervenida, se registraron tres transectos los cuales se evidencian en la **Tabla 3.4**, el transecto T2 Madre Costal destaca al presentar los promedios más elevados (diámetro de 0.309 m, área basal de 0.079 m² y volumen de 0.7034 m³) para las variables dasométricas. Estos resultados sugieren que Madre Costal alberga árboles de mayor tamaño y desarrollo. Por el contrario, el T3 Tres Bocas exhibe los valores más bajos tanto en altura promedio (12.69 m) como en volumen (0.2586 m³), indicando que este sitio tiene árboles de menor tamaño. En estos transectos, la presencia de árboles es casi homogénea, lo que sugiere que la variación en los datos dasométricos sea por otros factores específicos de cada zona.

Tabla 3.4. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona medianamente intervenida

TRANSECTOS	T1	T2	T3
	PUERTO HONDO	MADRE COSTAL	TRES BOCAS
N° de árboles	23	20	23
D Promedio (m)	0.193	0.309	0.206
G Promedio (m ²)	0.0340	0.0790	0.0390
V Promedio (m ³)	0.2982	0.7034	0.2586
H Promedio (m)	15.30	17.50	12.69

3.2.4 Zona poco intervenida

En la zona poco intervenida, se registraron seis transectos, los cuales presentaron los siguientes resultados (**Tabla 3.5**). En relación con el diámetro (D), se observa que T5 Islita de las Garzas exhibió el valor promedio más alto con 0.216 m, seguido por T4 El Saibo con 0.151 m, indicando una presencia predominante de árboles más gruesos en estas dos zonas. Por el contrario, T6 Frente al Muelle mostró el diámetro promedio más bajo con 0.111 m. Respecto al área basal, nuevamente T5 Islita de las Garzas destacó con el promedio más alto de 0.0390 m², mientras que T6 Frente al Muelle presentó el valor más bajo de 0.0110 m².

En lo que respecta a la altura, los árboles más altos se registraron en T4 El Saibo con un promedio de 12.77 m, mientras que la altura más baja se observa en T3 Guarillo con 8.82 m. Además, la mayor abundancia se dio en T1 Manglecillo con 50 árboles y la menor abundancia en Islita de las Garzas con 18 árboles.

Los transectos T5 Islita de las Garzas y T4 El Saibo destacan al presentar los mayores valores de diámetro, área basal y altura, indicando la presencia de los árboles más desarrollados en las zonas evaluadas. Mientras tanto, el transecto T6 Frente al

Muelle exhibió los promedios más bajos para las variables antes mencionada, posiblemente debido a la presencia de árboles jóvenes o brinzales.

Tabla 3.5. Resultados dasométricos de los tres transectos (5x100m) de la zona poco intervenida

TRANSECTOS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	MANGLECILLO	ZAPATERO	GUARILLO	EL SAIBO	ISLITA DE LAS GARZAS	FRENTE AL MUELLE
N° de árboles	50	50	28	22	18	26
D Promedio (m)	0.139	0.138	0.142	0.151	0.216	0.111
G Promedio (m²)	0.0220	0.0160	0.0190	0.0190	0.0390	0.0110
V Promedio (m³)	0.1510	0.0778	0.0980	0.1363	0.2340	0.0504
H Promedio (m)	10.33	9.11	8.82	12.77	12.06	8.85

De forma general en la zona intervenida, el transecto Kennedy presentó los mayores valores promedio de diámetro, área basal y volumen, indicando la presencia de árboles longevos de gran porte a pesar del grado de perturbación. Por el contrario, en términos de abundancia se registraron muy pocos individuos (8 árboles). En esta zona la altura fue muy superior a la registrada en estudios como el de Gonçalves et al. (2020).

En la zona medianamente intervenida, el transecto Madre Costal tuvo el mejor desarrollo dasométrico con los mayores diámetro, área basal y volúmenes promedio en esa zona. Y en la zona poco intervenida, los valores dasométricos estuvieron por debajo en comparación con otras dos zonas, observándose los árboles más desarrollados en Islita de las Garzas. Las menores dimensiones podrían deberse a procesos de regeneración natural y reclutamiento de brinzales, típicos del manglar.

Con este análisis se evidenció la diferencia que existe entre las tres zonas tanto en medidas dasométricas como en número de individuos. Además, que la menor intervención no implicó los mayores tamaños de árboles, aunque probablemente

favorezca la abundancia y reproducción de nuevos individuos de menor porte. También, al contrastar nuestros resultados con las investigaciones de Sherman (2003) de 0.17 m de diámetro y 16 m de altura y Gonçalves et al. (2020) de 0.09 m de diámetro y 14 m de altura, se observa que la mayoría de los transectos el 58% de las diversas localidades estudiadas exhibieron diámetro y alturas superiores a las que ellos documentaron.

3.3 Matriz de decisión para la determinación de la ecuación alométrica

Se obtuvo como resultado la siguiente matriz, siguiendo los criterios establecidos en la metodología, se construyó una matriz de decisión utilizando las ecuaciones alométricas identificadas durante la revisión bibliográfica. Esta matriz es fundamental para determinar cuál ecuación es la adecuada para la estimación de la biomasa aérea. Para la evaluación se utilizó una escala del 1 al 5, tal como se muestra en la **Tabla 3.6**

Tabla 3.6. Matriz de decisión de la ecuación validada para la estimación de biomasa aérea en árboles de mangle

Criterios	$Y = e^{-2.4090+0.9522*\ln(DAP^2*H*S)}$	$Y = 42.69 - 12.800 * D + 1.242 * D^2$	$Y = e^{-2.134+2530*\ln(D)}$
Coeficiente de determinación (R²):	5	2	4
Número de parámetros	5	3	3
Sensibilidad a cambios en los datos	4	3	2
Aplicación de la formula en otros estudios.	4	3	2
Estabilidad a través de diferentes conjuntos de datos	3	4	4
Total	21	15	15

Nota: Para la evaluación se utilizó una escala de 1 al 5, considerando 1 - Bajo, 2 - Regular, 3 - Bueno, 4 -Muy bueno y 5 - excelente.

La primera ecuación de Brown (1989) destaca al ser evaluada según sus criterios ponderados. La revisión bibliográfica revela un coeficiente de determinación (R^2) de 0.99, posicionándola como la mejor opción entre las tres alternativas consideradas. Al incorporar tres variables, esta ecuación permite una representación más realista del bosque o ecosistema bajo evaluación de biomasa. Su elevado R^2 implica una baja sensibilidad a cambios en los datos, asegurando valores que se ajustan a los datos evaluados. Esto significa que la ecuación mantiene su eficacia independientemente de las variaciones en el diámetro (D) o la altura de los árboles, proporcionando estimaciones consistentes y cercanas a la realidad, ya sea que los árboles tengan diámetro alto o bajo, así como si su altura varía. Por lo tanto, la adaptabilidad de esta fórmula la convierten en una herramienta confiable para la estimación de biomasa aérea en diversas condiciones del ecosistema.

3.4 Determinación de biomasa y carbono en la parte aérea y en raíces en el ecosistema manglar a través de ecuaciones alométricas

Se estimó la biomasa aérea de los árboles (fuste) aplicando la ecuación de Brown et al. (1989): $Y = e^{-2.4090+0.9522*\ln(DAP^2*H*S)}$. En el caso de la biomasa en raíces (fracción radical) se utilizó la ecuación propuesta por Komiyama et al (2008): $B_{TB} = 0.199 * S^{0.899} * D^{2.22}$. Se observa una correspondencia entre los valores de biomasa/carbono y las dimensiones dasométricas previamente registradas para cada transecto como se ve en la **Tabla 3.7**. En Kennedy (zona intervenida) se presentó las mayores reservas con 1,566.67 kg de biomasa aérea y 750.54 kg en raíces por árbol.

En Madre Costal (zona medianamente intervenida) se exhibió el contenido promedio más elevado de biomasa total por árbol en esta zona con 896.95 kg, incluidos 387.34 kg en raíces. En comparación, en Tres Bocas se registró los valores promedio más bajos de biomasa en fuste (343.11 kg por árbol) y carbono en dicha fracción (171.55 kg por árbol).

Respecto a la zona de poca intervención, en Guarillo se presentó los valores promedio más altos de carbono aéreo por árbol (157.42 kg) y carbono en raíces por árbol (70 kg). Mientras que el T6 Frente al Muelle mostró los contenidos menores de biomasa y carbono del fuste con 72 kg y 36 kg, respectivamente (Ver **Apéndice A**).

Tabla 3.7. Datos de la estimación de Biomasa y carbono promedio en la parte aérea y en raíces por árbol en cada localidad

Zona	Nombre del sitio	B Promedio (Kg)	C Promedio (Kg)	B _{TB} Promedio (Kg)	C _{TB} Promedio (Kg)
Intervenida	Kennedy	1,566.67	783.34	750.54	292.71
	Miraflores	500.65	250.33	185.17	72.21
	Velero	280.09	140.04	158.17	61.69
Medianamente intervenida	Pto. Hondo	391.76	195.88	153.34	59.80
	Madre Costal	896.95	448.47	387.34	151.06
	Tres Bocas	343.11	171.55	180.17	70.26
	Manglecillo	200.46	100.23	99.61	38.85
	Zapatero	109.75	54.88	67.81	26.45
Poco intervenida	El Saibo	135.48	67.74	80.79	31.51
	Islita las Garzas	187.02	93.51	81.61	31.83
	Guarillo	314.83	157.42	179.49	70.00
	Frente al muelle	72.56	36.28	41.84	16.32

3.5 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces en el ecosistema manglar

3.5.1 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea en las zonas de intervención

En la Tabla 3.8 y Figura 3.13 se observa que la zona de mayor intervención registró 355.80 tC/ha, mientras que la zona medianamente intervenida obtuvo 160.90 tC/ha y por último la zona poco intervenida solo 78.18 tC/ha. Es decir, se encontró un mayor secuestro de carbono en biomasa aérea y en raíces precisamente en el área con mayor grado de perturbación. Esta observación podría explicarse por la presencia de individuos de dimensiones superiores, cuyo aporte individual en biomasa y acumulación de carbono contrarresta el efecto de una menor densidad poblacional.

Tabla 3.8. Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por hectárea (tC/ha) mediante ecuaciones alométricas en las tres zonas de intervención

		Zona intervenida	Zona medianamente intervenida	Zona poco intervenida
	Promedio de biomasa/ árbol	782.47	543.94	170.02
Carbono aéreo	Promedio de biomasa/ ha	521,907.76	239,332	110,001.38
	Pasar de kg a Ton de biomasa	521.91	239.33	110
	tC/Ha	260.95	119.67	55
	Promedio de biomasa/ árbol	364.63	240.28	91.86
Carbono raíces	Promedio de biomasa/ ha	243,207.60	105,724.60	59,435.77
	Pasar de kg a Ton de biomasa	243.21	105.72	59.44
	tC/ha	94.85	41.23	23.18
Carbono total	(tC/ha)	355.80	160.90	78.18

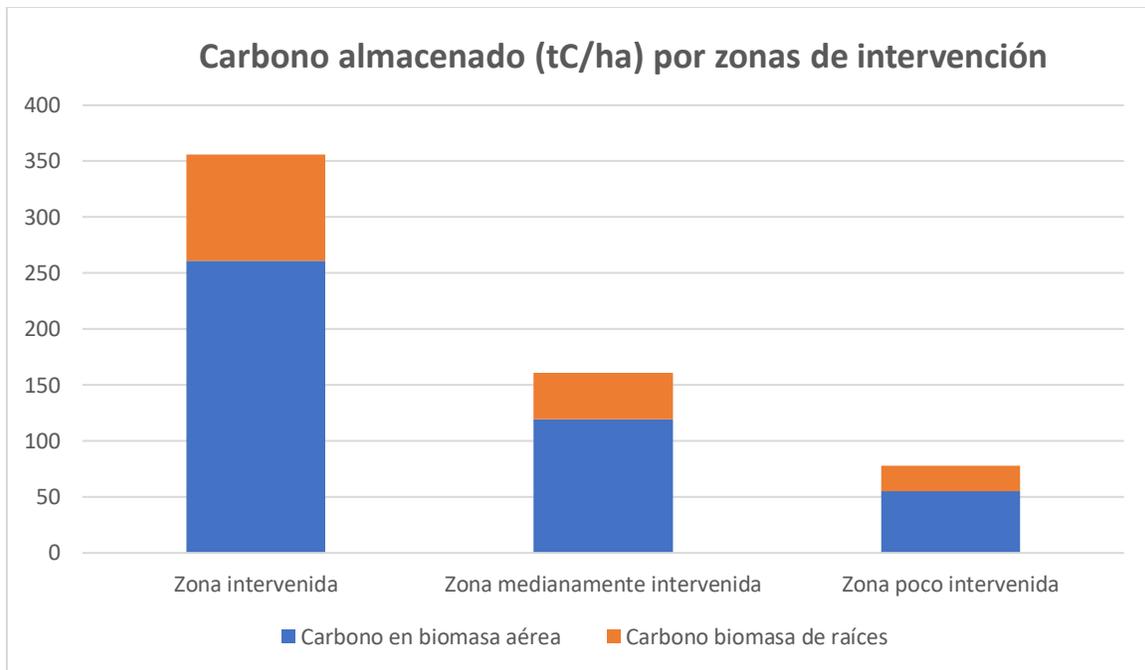


Figura 3.13. Carbono almacenado en biomasa aérea y en raíces por hectárea (tC/ha) por zonas de intervención

En comparación con otros estudios, Kovacs et al. (2001) registraron 27.60 tC/ha de biomasa en bosques de *R. mangle*, una cifra inferior a las observadas en todas las zonas en este trabajo. Asimismo, Gonçalves et al. (2020) reportaron 163.90 tC/ha de biomasa en manglares de *Rhizophora mangle*, mientras que, en este estudio, las mediciones mostraron tasas más elevadas en las zonas intervenidas (355.80 tC/ha). Además, Sherman (2003) estimó hasta 823.60 tC/ha en biomasa total, que es una cantidad significativamente mayor en comparación con las registradas en todas las zonas de este estudio (355.80, 160.90 y 78.18 tC/ha).

3.5.2 Carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces por localidad en base a la zonificación

En la zona intervenida, los tres sitios de estudio (Kennedy, Miraflores y Velero) abarcan una superficie total de 62.60 ha, con un almacenamiento de carbono aéreo de 16,335.71 t y un carbono en raíces de 5,937.67 t, sumando un total de 22,273.38 t de

carbono. Mientras que, la categoría medianamente intervenida (Chongón) abarca una mayor extensión, con tres sitios que suman 2,136 ha y almacenan más carbono, con un total de 343,679.40 t entre la biomasa aérea y de raíces.

Finalmente, en la zona poco intervenida (El Morro), con seis sitios y una extensión de 553.09 ha, registra un almacenamiento significativo de carbono, con 30,420.33 t en la biomasa aérea y 12,820.60 t en las raíces, resultando en un total de 43,240.93 t. La **Tabla 3.9** muestra que a medida que la intervención disminuye, tanto la extensión como la captura de carbono aumentan. Los sitios menos intervenidos presentan mayor superficie y acumulan una cantidad considerable de carbono aéreo y de raíces capturado por todas las localidades en las áreas de estudio.

Tabla 3.9. Datos del carbono almacenado en biomasa aérea y de raíces en las localidades de las tres zonas de intervención

Zona	Nombre del sitio	Extensión aproximada (ha)	Carbono en biomasa aérea (t)	Carbono en raíces (t)	Carbono (aéreo + raíces)
Intervenida	Kennedy	28	7,306.71	2,655.83	9,962.54
	Miraflores	21	5,480.03	1,991.87	7,471.90
	Velero	13.60	3,548.97	1,289.97	4,838.95
	Subtotal intervenida	62.60	16,335.71	5,937.67	22,273.38
Medianamente intervenida	Pto. Hondo	265	31,711.49	10,926.64	42,638.13
	Madre Costal	962	115,118.69	39,665.76	154,784.45
	Tres Bocas	909	108,776.39	37,480.43	146,256.82
	Subtotal medianamente intervenida	2,136	255,606.58	88,072.82	343,679.40
Poca intervenida	Manglecillo	114.30	6,286.58	2,649.47	8,936.05
	Zapatero	6.39	351.45	148.12	499.57
	El Saibo	178	9,790.12	4,126.03	13,916.15
	Islita las Garzas	12	660.01	278.16	938.17
	Guarillo	225.90	12,424.66	5,236.35	17,661.01
	Frente al muelle	16.50	907.51	382.47	1,289.98
	Subtotal poco intervenida	553.09	30,420.33	12,820.60	43,240.93
	Total		2,751.69	30,2362.62	106,831.09

3.6 Análisis estadísticos de captura de carbono de las tres zonas de intervención

Los análisis estadísticos indican la presencia de diferencias significativas en los resultados obtenidos entre las distintas zonas de intervención. Específicamente, las pruebas de normalidad (**Tabla 3.10**) demostraron que en ninguna zona existió una distribución normal de los datos. En consecuencia, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual confirmó desigualdades en al menos dos zonas, con un valor p de 5.747e-13 (Ver **Apéndice B**).

Tabla 3.10. Pruebas de normalidad por zonas de intervención

Zona	Valor p	Distribución
Intervenida	8.309e-15	No normal
Medianamente intervenida	1.271e-05	No normal
Poco intervenida	2.200e-16	No normal

En la comparación post hoc mediante la prueba de Dunn (**Tabla 3.11**), todas las comparaciones por pares de zonas arrojaron diferencias estadísticamente significativas (valores $p < 0.05$). Estos resultados confirman que cada grado de intervención presenta condiciones particulares que se traducen en divergencias medibles a nivel estadístico. Es decir, las zona intervenida, medianamente intervenida y poco intervenida presentan diferencias entre sí en relación con el carbono.

Tabla 3.1111. Prueba post hoc de Dunn entre zonas

Zonas comparadas	Valor p ajustado	Interpretación
Intervenida vs. Medianamente	< 0.05	Diferencia significativa
Intervenida vs. Poco	< 0.05	Diferencia significativa
Medianamente vs. Poco	< 0.05	Diferencia significativa

3.7 Valoración económica en el ecosistema manglar

La zona intervenida, captura un total de 22,273 toneladas métricas acumuladas en 62.60 hectáreas, distribuidas entre los sitios Kennedy (28 ha), Miraflores (21 ha) y Velero (13.6 ha), lo que representa un valor económico sustancial de USD \$ 890,935.33 en créditos de carbono, considerando el valor propuesto por el Banco Mundial para el mercado no regulado, establecido en \$40 por tonelada de carbono.

La zona medianamente intervenida, que abarca 2,136 hectáreas acumula 343,679.40 toneladas métricas, principalmente de Madre Costal (962 ha), seguido en menor medida por Tres Bocas (909 ha) y Pto Hondo (265 ha). Este significativo aporte equivale a un valor de mercado USD \$ 13'747,175.93.

Finalmente, la zona menos intervenida muestra un acumulado de 43,240.93 toneladas en 553.09 hectáreas, distribuidas entre varios sitios, en el que destaca el Guarillo (225.9 ha). El valor económico de la zona poco intervenida es de USD \$ 1'729,637.17, como se muestra en la **Tabla 3.12**. Con esto se tiene que la cantidad de dinero proyectada en bonos de carbono es de \$ 16'367,748.43, lo que representa una cantidad considerable de ingresos por concepto de bonos de carbono.

Tabla 3.12. Valoración económica del mangle en las tres zonas de intervención

Zona	Nombre del sitio	Extensión aproximada del área muestreada (ha)	Carbono (t) (biomasa aérea + raíces)	USD en Carbono
Intervenida	Kennedy	28	9962.54	\$398,501.43
	Miraflores	21	7471.90	\$298,876.07
	Velero	13.60	4838.95	\$193,557.84
Subtotal intervenida				\$ 890,935.33
Medianamente intervenida	Pto. Hondo	265	42,638.13	\$1'705,525.10
	Madre Costal	962	154,784.45	\$6'191,377.92
	Tres Bocas	909	146,256.82	\$5'850,272.90
Subtotal medianamente				\$13'747,175.93
Poco intervenida	Manglecillo	114.30	8,936.05	\$357,441.88
	Zapatero	6.39	499.57	\$19,982.97
	El Saibo	178	13,916.15	\$556,646.14
	Islita las	12	938.17	\$37,526.71
	Garzas			
	Guarillo	225.90	17,661.01	\$706,440.25
	Frente al muelle	16.50	1,289.98	\$51,599.22
Subtotal poco intervenida				\$1'729,637.17
Total				\$16'367,748.43

La evaluación económica del carbono capturado por los manglares se fundamenta en la cantidad de toneladas almacenadas en este ecosistema. Es evidente que a medida que aumenta tanto la cantidad de carbono como la extensión del área del manglar, su valor en bonos también se incrementa. Este enfoque resalta la importancia no solo de la capacidad de los manglares para almacenar carbono, sino también de su extensión geográfica, ya que ambos factores son determinantes clave en la contribución de estos ecosistemas a la mitigación del cambio climático y, por ende, a la generación de beneficios económicos mediante la participación en mercados de bonos de carbono.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

- I. Se realizó un análisis comparativo de las medidas dasométricas y se determinó que un árbol de manglar en la zona intervenida tiene un volumen de 0.6250 m^3 , en la zona medianamente intervenida de 0.4200 m^3 , y en la zona poco intervenida de 0.1245 m^3 lo que los hace significativamente diferentes.
- II. Se hizo la estimación a través de ecuaciones alométricas con la ecuación validada de Brown en la parte de biomasa aérea y la Komiyama en biomasa de raíces que nos da las siguientes métricas en la captura de carbono en las tres zonas de intervención, siendo la mayor captura en el intervenido con 355.80 t/ha , seguido por el medianamente intervenido con 160.90 t/ha y el poco intervenido con 78.18 t/ha . Esta variación se atribuye a la presencia de árboles más jóvenes y a una menor densidad poblacional en la última zona, lo que permite un ciclo de regeneración natural más lento que afecta la acumulación de biomasa y, por ende, la captura de carbono.
- III. El valor económico del área de estudio es USD \$16'367,748. 43 en concepto de bonos de carbono, correspondiente a una captura de 409,193.71 toneladas de carbono en 2751.69 hectáreas. Estos bonos de carbono representan recursos que pueden ser aprovechados para entablar negociaciones sobre el ecosistema manglar.

4.2 Recomendaciones

- I. Georreferenciar y sectorizar de las áreas de estudio para determinar con mayor precisión la superficie en hectáreas de cada zona. La georreferenciación permite asignar coordenadas geográficas a los polígonos trazados en los sectores, mientras que la sectorización facilita delimitar las porciones de interés dentro del área total para realizar análisis diferenciados.

- II. Contar con mediciones exactas del tamaño en unidades de hectárea de cada sector resulta esencial para estandarizar variables como la biomasa o carbono capturado por unidad de superficie, posibilitando la comparabilidad entre zonas.
- III. Los resultados de este estudio resaltan el gran potencial de los manglares del cantón Guayaquil para la captura y almacenamiento de carbono. Esto abre la oportunidad para que los organismos gubernamentales diseñen un proyecto orientado a la comercialización de bonos de carbono en mercados voluntarios. Dicho proyecto podría involucrar la realización de convenios y concesiones con el sector privado, incluyendo empresas nacionales e internacionales, para canalizar inversiones que permitan preservar y ampliar la capacidad de captura de este ecosistema.
- IV. Explorar el uso de técnicas de machine learning como random forests o redes neuronales para modelar relaciones no lineales entre las variables. Esto podría mejorar la precisión de las predicciones.
- V. Validar los modelos con datos de campo adicionales para evaluar su capacidad predictiva en la práctica. Un conjunto de validación independiente permitiría estimar el error esperado en predicciones para nuevos sitios.
- VI. Realizar un análisis de sensibilidad de los modelos estadísticos para evaluar la estabilidad de los resultados ante cambios en los supuestos y parámetros. Esto proporcionaría mayor confianza en las conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. (B. Santa Cruz, Ed.)
- Abad, M., & Jairo, R. (2014). Generación de modelos alométricos para la cuantificación de biomasa y contenido de carbono a nivel de especies, aplicando el método destructivo de baja intensidad para el estrato bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia. *Universidad Nacional de Loja*.
- Adedeji, G. &. (2012). *Density variations in red mangrove (Rhizophora racemosa GFW Meyer) in onne, River State, Nigeria*. River State: 4. 165-168.
- Banco Mundial. (1 de 12 de 2017). *Fijación del precio del carbono*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing>
- Barnes, E. (04 de 01 de 2022). *Manglares: una solución ante la crisis climática*. Obtenido de Descubre WWF: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/manglares-una-solucion-ante-la-cribis-climatica>
- Barrera, J. E. (1997). Evaluación del Potencial Productivo de los Manglares del "Estero Canta Gallo", Chinandega. *Tesis de grado*, 7-8.
- BBVA. (30 de Octubre de 2023). *Huella de carbono*. Obtenido de Sostenibilidad y Banca Responsable: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-creditos-de-carbono-hacia-un-mercado-global-de-emisiones/>
- Bodero, A., & Robadue, D. (Diciembre de 1995). *Estrategia para el manejo del ecosistema manglar en el Ecuador*. Obtenido de Manejo Costero Integrado en Ecuador: https://www.crc.uri.edu/download/8YearsSpanish_7_Manglares.pdf
- Brown, S. A. (1989). *Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data*. *Forest Science* 35:881-902.
- Bustamante, M., & Álava, L. (2020). *Memoria de la biodiversidad del cantón Guayaquil*. Guayaquil: Dirección de Ambiente.
- Cedeño, I. (13 de 12 de 2022). *Bonos de carbono: una oportunidad para disminuir las emisiones*. Obtenido de GTA Ambiental: <https://gtaambiental.com/bonos-de-carbono/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Banco,tonelada%20de%20CO2%20equivalente%20reducida.>
- Cerezo, A., Medina, G., Viteri, R., & Álvarez, M. (2016). Caracterización y propuesta técnica de la acuicultura en el sector de Chongón. *Artículo*, 2-3.
- Cevallos, M. I., Cortez, M. F., & Hurtado, Y. N. (2010). Evaluación del uso recreativo y turístico del refugio de vida silvestre manglares El Morro. *Tesis de grado*, 4-5.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., E. D., & Fölster, H. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.

- Cinvestav. (18 de 03 de 2019). *Los manglares ayudan a mitigar cambio climático*. Obtenido de Golbal: https://unamglobal.unam.mx/global_revista/los-manglares-ayudan-a-mitigar-cambio-climatico/
- CMCC. (2005). *Cuidar el clima. . Bonn: Secretaría de la Convención Marco sobre el Cambio Climático*.
- Comisión Nacional Forestal. (22 de 11 de 2017). *Bosques y Cambio Climático*. Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/bosques-y-cambio-climatico-23762#:~:text=Los%20bosques%20y%20la%20mitigación%20al%20Cambio%20Climático&text=Los%20bosques%20durante%20su%20crecimiento,y%20en%20los%20árboles%20muertos.>
- Cornejo, X. (2014). Árboles y arbustos de los manglares del Ecuador. *Subsecretaria de Patrimonio Natural - Dirección Nacional Forestal*, 6.
- De la Peña, A., Rojas, C., & De la Peña, M. (2010). Economic valuation of mangrove for the carbon storage in the Ciénaga Grande. *Dialnet - Revista*(4), 134.
- Elzinga, C. &. (2001). *Monitoring Plant and Animal Populations. A handbook for field biologists*.
- Emanuelli, P. (2011). Bases para ejecución de inventarios de recursos forestales en el contexto Redd. *Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación*.
- ENVATO. (s.f.). *Árbol de manglar en crecimiento*. Obtenido de ENVATO ELEMENTS: <https://elements.envato.com/es/growing-mangrove-tree-EWQT6JY>
- Espinoza, G. (2001). *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. . BID. Santiago de Chile*.
- FAO. (2004). *Inventario forestal nacional: manual de campo. Programa de evaluación de recursos forestales*.
- Ficha técnica*. (s.f.). Obtenido de Red de Viveros de Biodiversidad: https://revivemx.org/Recursos/Fichas_propagacion/FichaPropagacion_F4_Rhizophora_mangle_MangleRojo.pdf
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J., & Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115: 39-53.
- GAD El Morro. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2019*. Obtenido de Gobierno autónomo descentralizado parroquial rural El Morro: [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0968538740001_PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%20RURAL%20DEL%20MORRO%2028%2010%202015%20\(1\)_30-10-2015_16-38-46.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0968538740001_PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%20RURAL%20DEL%20MORRO%2028%2010%202015%20(1)_30-10-2015_16-38-46.pdf)
- Garduño, R. (2004). *¿ Qué es el efecto invernadero. . Mexico: Cambio climático: una visión desde México*, 29.

- Gómez, G. d. (2005). Importancia económico-ambiental del ecosistema manglar. En *Economía y Desarrollo* (Vol. 138, págs. 111-134). La Habana, Cuba. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4255/425541308005.pdf>
- Gonçalves, F. D., Silva, D. F., Seifert, A. L., Schnitzer, S. A., & Moraes Novo, E. M. (2020). Structure, aboveground biomass and carbon stocks assessment in *Rhizophora mangle* L. mangrove forest in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 457, 117697.
- Hamrick, K., & Goldstein, A. (2015). Ahead of the curve: State of the Voluntary Carbon Markets. *EForest Trends Ecosystem Marketplace*.
- Herrera Silveira, J., Teutli Hernández, C., Cinco Castro, S., & Andrade Medina, R. (s.f.). Carbono azul en manglares: ¿qué es, dónde está y para qué sirve? *La Jornada ecológica*. Obtenido de <https://ecologica.jornada.com.mx/2022/05/29/carbono-azul-en-manglares-que-es-donde-esta-y-para-que-sirve-9923.html#:~:text=Como%20una%20estrategia%20financiera%2C%20los,uso%20sustentable%20del%20ecosistema%20manglar>.
- IPPC. (2007). Impacts, Attribution and Vulnerability. *Cambridge University*.
- Jaramillo, V. A.-H. (2003). *Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture*. Mexico: Journal of Tropical Ecology 19: 457-w464.
- Kauffman, B., & Donato, D. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Bogor: Working Paper 86.
- Kauffman, J. B., Heider, C. C., Dwire, K. A., & Donato, D. C. (2011). Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Forest Ecology and Management*, 31(2), 343-352.
- Klinger, W. (2010). Cobertura y niveles de intervención de los manglares del Pacífico chocoano. *Artículo*, 88-97.
- Komiyama, A. O. (2008). *Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review*. *Aquatic Botany* 89: 128-137.
- Kovacs, J. M.-C. (2001). Mapping disturbances in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management*, 27(5), 763-776.
- Lovelock, C. E., Feller, I. C., McKee, K. L., Thompson, R., & Ball, M. C. (2007). Testing the growth rate vs. geochemical hypothesis for the regulation of mangrove leaf litter decomposition. *Oecologia*, 154(3), 433-441.
- MacDicken, K. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Arlington: Winrock International Institute for Agricultural Development.
- MAE. (04 de diciembre de 2017). *Plan Nacional para la Conservación del Manglar se desarrolló en Machala*. Obtenido de Ministerio del Ambiente de Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/plan-nacional-para-la-conservacion-del-manglar-se-desarrollo-en-machala/>
- Maldonado, J. (2020). Beneficios del carbono azul en el mercado voluntario: caso de estudio en manglares del DMI. *Tesis de maestría*, 6-7.

- McRoberts, E., Tomppo, E., & Czaplewski, C. (2010). Diseños de muestreo de las Evaluaciones Forestales Nacionales. *FAO*.
- McRoberts, R. O. (2006). *Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales. Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales nacionales*. Roma: FAO.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (16 de 04 de 2019). *Ecuador presenta Plan de Acción para conservar 161 mil hectáreas de manglar*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presenta-plan-de-accion-para-conservar-161-mil-hectareas-de-manglar/>
- Moreira, V. V. (2021). Caracterización del cambio de cobertura de manglar por efecto antrópico en la provincia de Manabí. *Tesis*, 24-25. Obtenido de Tesis.
- Nacipucha, X. A. (2014). Implementación de un protocolo de reforestación del género *Rhizophora*, en tres sectores de la provincia del Guayas. *Tesis*, 12-16.
- Panchana, H. E. (2009). Identificación de hongos marinos en el manglar de Palmar, provincia de Santa Elena-Ecuador. *Tesis*, 45.
- Patrick, P. (26 de 05 de 2023). *Los accionistas de TotalEnergies respaldan a su directiva bajo la presión de ecologistas*. Obtenido de SWISSINFO: https://www.swissinfo.ch/spa/francia-totalenergies_los-accionistas-de-totalenergies-respaldan-a-su-directiva-bajo-la-presion-de-ecologistas/48544446
- Pouyanné. (26 de 05 de 2023). *Los accionistas de TotalEnergies respaldan a su directiva bajo la presión de ecologistas*. Obtenido de SWISSINFO: https://www.swissinfo.ch/spa/francia-totalenergies_los-accionistas-de-totalenergies-respaldan-a-su-directiva-bajo-la-presion-de-ecologistas/48544446
- Quoc, V., Kuenzer, C., Quang, V., Moder, F., & Oppelt, N. (Diciembre de 2012). Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecological Indicators*, 23, 431-446. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.022>
- Ramsar. (2021). *La Convención sobre los Humedales*. Obtenido de Ramsar: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn12_blue_carbon_ccmitigation_s.pdf
- Regalado, A., Sánchez, L., & Mancebo, B. (Enero-Febrero de 2016). *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo): Una especie con potencialidades de uso terapéutico. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 4(1), 1-17.
- Romero, I. (16 de 4 de 2020). Evaluación del efecto del cambio climático y la pérdida de agrobiodiversidad en la comunidad de Santa Lucía, parroquia Antonio José Holguin, cantón Salcedo. *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico.html>
- Romero, N. (Marzo de 2014). *Neoliberalismo E Industria Camaronera En Ecuador*. doi:<https://doi.org/10.17141/letrasverdes.15.2014.1257>

- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. *Centro Mundial Agroflorestral (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA)*, 79.
- Schaeffer-Novelli, Y., Cintrón-Molero, G., Adaime, R. R., & De Rosa, T. (1990). Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. . *Estuaries*, 13(2), 204-218.
- Sherman, R. E. (2003). Frequent cyclone disturbance of a mangrove forest over a 25-year period on Kosrae, Micronesia.
- Torres, M. G., & Ruíz, A. F. (Noviembre de 2017). *Identificación del cambio de la cobertura de manglar frente al desarrollo de la Industria camaronera en la Costa Caribe, a partir de la interpretación de imágenes de satélite*. Obtenido de Tesis de grado:
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1734&context=ing_ambiental_sanitaria
- Vanegas, W. F. (2019). Percepción sobre los servicios ecosistémicos del manglar en las parroquias rurales del Ecuador. *Tesis*, 21-23.

ANEXOS

Apéndice A

✓ Zona intervenida

CARBONO EN FUSTE	KENNEDY	MIRAFLORES	VELERO
N° DE ÁRBOLES	8	54	38
Promedio	783.33	228.42	140.04
Desviación estándar	763.68	148.58	127.11
Co. Var	0.97	0.65	0.91
Máximo	2301.30	547.06	732.40
Mínimo	103.08	0.18	13.32

CARBONO EN RAÍCES	KENNEDY	MIRAFLORES	VELERO
N° DE ÁRBOLES	8	54	38
Promedio	292.71	72.21	61.69
Desviación estándar	302.44	62.19	66.68
Co. Var	1.03	0.86	1.08
Máximo	908.44	430.43	320.00
Mínimo	32.54	6.98	8.29

✓ Zona medianamente intervenida

CARBONO EN FUSTE	PUERTO HONDO	MADRE COSTAL	TRES BOCAS
N° DE ÁRBOLES	23	20	23
Promedio	195.88	448.47	171.55
Desviación estándar	171.32	236.89	137.90
Co. Var	87%	53%	0.80
Máximo	531.62	1055.84	479.38
Mínimo	10.85	114.23	28.19

CARBONO EN RAICES	PUERTO HONDO	MADRE COSTAL	TRES BOCAS
N° DE ÁRBOLES	8	54	38
Promedio	59.80	151.06	70.26
Desviación estándar	46.80	73.85	61.70
Co. Var	0.78	0.48	0.87
Máximo	151.61	304.97	210.78
Mínimo	4.74	46.99	11.26

✓ **Zona poco intervenida**

CARBONO EN FUSTE	MANGLECILLO	ZAPATERO	GUARILLO	EL SAIBO	ISLITAS LAS GARZAS	FRENTE AL MUELLE
N° DE ÁRBOLES	50	50	28	22	18	26
Promedio	100.23	54.87	67.73	93.50	157.41	36.28
Desviación estándar	151.51	36.15	62.57	63.67	69.63	25.17
Co. Var	151%	66%	92%	0.68	0.44	0.69
Máximo	605.47	162.525	277.34	265.41	288.68	89.92
Mínimo	2.02	11.06	4.08	4.26	39.48	11.86

CARBONO EN RAICES	MANGLECILLO	ZAPATERO	GUARILLO	EL SAIBO	ISLITAS LAS GARZAS	FRENTE AL MUELLE
N° DE ÁRBOLES	50	50	28	22	18	26
Promedio	38.84	26.44	31.50	31.82	70.00	16.32
Desviación estándar	57.06	15.94	27.93	18.32	40.78	10.62
Co. Var	1.46	0.60	0.88	0.57	0.58	0.65
Máximo	244.42	70.88	132.15	80.05	183.58	43.53
Mínimo	1.12	3.36	3.79	4.74	16.67	5.25

Los resultados del carbono capturado se muestran en las tablas correspondientes, incluyendo las estadísticas descriptivas asociadas a esta variable para cada transecto analizado. Entre las métricas estadísticas calculadas se encuentran la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación, los valores mínimos y máximo.

Apéndice B

```
data: Regresion_lineal_alometria_calculos_Prueba$`Biomasa ZI`  
W = 0.61484, p-value = 8.309e-15
```

```
data: Regresion_lineal_alometria_calculos_Prueba$`Biomasa ZM`  
W = 0.88107, p-value = 1.271e-05
```

```
data: Regresion_lineal_alometria_calculos_Prueba$`Biomasa ZP`  
W = 0.72376, p-value < 2.2e-16
```

Kruskal-wallis rank sum test

```
data: list(p1, p2, p3)  
Kruskal-wallis chi-squared = 56.37, df = 2, p-value = 5.747e-13
```

```
$chi2  
[1] 56.36969  
  
$Z  
[1] 0.1701245 6.5854898 6.4153652  
  
$P  
[1] 4.324561e-01 2.266942e-11 7.024282e-11  
  
$P.adjusted  
[1] 4.324561e-01 6.800825e-11 1.404856e-10  
  
$comparisons  
[1] "1 - 2" "1 - 3" "2 - 3"
```

En las imágenes se muestra el resultado en RStudio de las pruebas para evaluar la diferencia entre las zonas.

Primero con una prueba de normalidad, empleando la prueba Shapiro-Wilk. Para evaluar diferencias significativas entre zonas se aplicó la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis). Las comparaciones post-hoc se realizaron con Dunn, respectivamente.